



**Hugo Diogo
Antunes Lopes
Fonseca**

Conceção de um sistema de localização em redes sem fios

“A imaginação é mais importante que a ciência, porque a ciência é limitada, ao passo que a imaginação abrange o mundo inteiro.”

— Albert Einstein



**Hugo
Fonseca**

Conceção de um sistema de localização em redes sem fios

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Computadores e Telemática, realizada sob a orientação científica do Doutor António Manuel Duarte Nogueira e do Doutor Paulo Jorge Salvador Salvador Serra Ferreira, Professores Auxiliares do Departamento de Electrónica Telecomunicações e Informática da Universidade de Aveiro.

o júri / the jury

presidente / president

Professor Doutor André Ventura da Cruz Marnoto Zúquete
Professor Auxiliar da Universidade de Aveiro

vogais / examiners committee

Professor Doutor Joel José Puga Coelho Rodrigues
Professor Auxiliar da Universidade da Beira Interior

Professor Doutor António Manuel Duarte Nogueira
Professor Auxiliar da Universidade de Aveiro (orientador)

Professor Doutor Paulo Jorge Salvador Serra Ferreira
Professor Auxiliar da Universidade de Aveiro (coorientador)

**agradecimentos /
acknowledgements**

Aos meus orientadores Professor António Nogueira e Professor Paulo Salvador pelo apoio prestado ao longo da Dissertação.

Aos pais que me apoiaram nos momentos mais difíceis e me lembraram o caminho correto ao longo da vida académica.

Aos amigos que me acompanharam nos momentos de lazer.

palavras-chave

Wi-Fi, TOA, TDOA, RSSi, AOA, localização em tempo real, GPS, GLONASS.

Resumo

Ao longo desta dissertação o tema abordado será a localização de utilizadores em redes sem fios, desde os diferentes tipos de tecnologias existentes até aos diferentes métodos possíveis para obter a localização dos utilizadores, suas vantagens, desvantagens e erros associados.

Depois de se efetuar o levantamento das soluções existentes atualmente no mercado, será descrita a "tentativa" de desenvolvimento de um sistema de localização em tempo real para a tecnologia *Wi-Fi* (802.11), com base em trilateração calculada através dos valores de *RSSi* (*Received Signal Strength indication*) devolvidos pela interface da placa de rede sem fios.

Seguidamente, são apresentadas as características da aplicação desenvolvida e as considerações que foram tomadas no seu desenvolvimento. Finalmente são apresentados os resultados obtidos, tentando perceber se foram satisfatórios ou se ficaram abaixo das expectativas, sendo discutidas formas possíveis de melhorar esses resultados.

keywords

Wi-Fi, TOA, TDOA, RSSi, AOA, localização em tempo real, GPS, GLONASS.

Abstract

This dissertation is focused on the location of users in wireless networks, starting by identifying the different types of technologies and the different methods that can be used to obtain the users locations, their advantages, disadvantages and associated errors.

After making a survey of the existing solutions, the dissertation describes the "attempt" that was made to develop a real time tracking system for Wi-Fi (802.11) technology, based on trilateration calculated from RSSi (Received Signal Strength indication) values that are returned by the wireless network interfaces.

Then, the characteristics of the developed application are presented, together with the considerations that were taken during its development. Finally, the results obtained are presented, and a subsequent analysis is conducted in order to understand if they are satisfactory or not and what could be changed to improve them.

Conteúdo

Conteúdo	i
Lista de Figuras	iii
Lista de Tabelas	v
1 Introdução	1
1.1 Motivação	1
1.2 Objetivos	1
1.3 Estrutura	2
2 Estado de Arte	3
2.1 Tecnologias sem fios usadas nos sistemas de localização	3
2.1.1 Wi-Fi	3
2.1.2 Bluetooth	4
2.1.3 ZigBee (sobre 802.15.4)	4
2.1.4 GSM	5
2.2 Métodos de localização	5
2.2.1 Time of Arrival (TOA)	5
2.2.2 Time Diference of Arrival (TDOA)	7
2.2.3 Angle of Arrival (AOA)	8
2.2.4 Nearest cell	9
2.2.5 Received Signal Strength indication(RSSi)	9
2.3 Sistemas de posicionamento global	11
2.3.1 GPS	11
2.3.2 GLONASS	12
2.4 Soluções existentes	13
2.4.1 Ekahau	13
2.4.2 AeroScout	13
2.4.3 Inner wireless	13
2.4.4 N-Core	13
2.4.5 AwarePoint	13
2.4.6 Pinpoint	14
2.4.7 Ubisense	14

3	Desenvolvimento da aplicação	15
3.1	Informação relevante/adicional sobre Wi-Fi	15
3.2	Informação relevante/adicional sobre Bluetooth	15
3.3	Ponto de vista da aplicação	16
3.4	Características da aplicação	17
3.5	Desenvolvimento e implementação	18
3.6	Funcionamento da aplicação (algoritmo)	21
4	Configuração da aplicação	27
4.1	Versão 11	27
4.2	Versão 13	29
5	Resultados	43
5.1	Planta do piso onde decorrem as medições	43
5.2	Estados do equipamento	44
5.3	Posicionamento dos sensores	45
5.4	Lançamento da aplicação sensorial/servidora	51
5.5	Medições experimentais RSSi-distância e valores interpolados	52
6	Conclusões	61
6.1	Conclusões Finais	61
6.2	Trabalho Futuro	61
	Bibliografia	63

Lista de Figuras

2.1	Medição <i>RTT</i> segundo Stuart A. Golden	6
2.2	Medição <i>RTT</i> segundo Christian Hoene	7
2.3	Cálculo da posição com <i>TDOA</i>	8
2.4	Cálculo da posição usando o método <i>AOA</i>	9
2.5	Estimar a posição através do método <i>nearest cell</i>	10
2.6	<i>RSSI</i> através de trilateração.	11
3.1	Todos os sensores enviam as medidas do equipamento para a aplicação servidora. 18	
3.2	O sensor envia as medidas de todos os equipamentos para a aplicação servidora. 19	
3.3	Algoritmo simplificado da aplicação.	24
3.4	Mapeamento <i>RSSI</i> - distância.	25
3.5	Equações do cálculo dos pontos de interseção.	26
4.1	Representação da legenda dos gráficos posteriores.	27
4.2	5 s entre registo, 100 ms por canal, todos os canais, versão 11.	28
4.3	5 s entre registo, 100 ms por canal, um canal, versão 11.	29
4.4	1 s entre registo, 100 ms por canal, todos os canais, versão 11.	30
4.5	1 s entre registo, 100 ms por canal, um canal, versão 11.	30
4.6	5 s entre registo, 250 ms por canal, todos os canais, versão 11.	31
4.7	5 s entre registo, 250 ms por canal, um canal, versão 11.	31
4.8	1 s entre registo, 250 ms por canal, todos os canais, versão 11.	32
4.9	1 s entre registo, 250 ms por canal, um canal, versão 11.	32
4.10	1 s entre registo, 250 ms por canal, todos os canais, versão 13.	33
4.11	1 s entre registo, 250 ms por canal, um canal, versão 13.	33
4.12	0.5 s entre registo, 250 ms por canal, todos os canais, versão 13.	34
4.13	0.5 s entre registo, 250 ms por canal, um canal, versão 13.	34
4.14	0.1 s entre registo, 250 ms por canal, todos os canais, versão 13.	35
4.15	0.1 s entre registo, 250 ms por canal, um canal, versão 13.	35
4.16	0.1 s entre registo, 250 ms por canal, um canal, versão 13, com obstáculos em movimento.	36
4.17	1 s entre registo, 100 ms por canal, todos os canais, versão 13.	36
4.18	1 s entre registo, 100 ms por canal, um canal, versão 13.	37
4.19	0.5 s entre registo, 100 ms por canal, todos os canais, versão 13.	37
4.20	0.5 s entre registo, 100 ms por canal, um canal, versão 13.	38
4.21	0.1 s entre registo, 100 ms por canal, todos os canais, versão 13.	39
4.22	0.1 s entre registo, 100 ms por canal, um canal, versão 13.	40

4.23	0.1 s entre registo, 100 ms por canal, um canal, versão 13, com obstáculos em movimento.	41
5.1	Planta do piso de testes do sistema.	43
5.2	Representação da legenda dos gráficos do intervalo temporal entre medidas. .	44
5.3	Acesso a páginas <i>web</i> de 2 em 2 segundos.	44
5.4	Acesso a páginas <i>web</i> de 5 em 5 segundos.	45
5.5	Equipamento inativo.	46
5.6	Equipamento a aceder a <i>webradio</i>	47
5.7	Estimativa de localização com área demasiado pequena (tentativa 1).	48
5.8	Teste de alcance entre sensor no ponto A e o equipamento no ponto B.	49
5.9	Teste de alcance entre o sensor no ponto A e o equipamento próximo do ponto ABC.	50
5.10	Teste de alcance entre o sensor no ponto A e o equipamento a meia distância entre os pontos ABC e AC.	51
5.11	Teste de alcance entre sensor e equipamento no ponto AC.	52
5.12	Equipamento estático a aceder a <i>web radio</i>	53
5.13	Equipamento estático a aceder a páginas <i>web</i> a cada 2 segundos.	54
5.14	Equipamento estático a aceder a páginas <i>web</i> a cada 5 segundos.	54
5.15	Equipamento em movimento a aceder a <i>web radio</i>	55
5.16	Equipamento em movimento a aceder a páginas <i>web</i> a cada 2 segundos. . . .	55
5.17	Equipamento em movimento a aceder a páginas <i>web</i> a cada 5 segundos. . . .	56
5.18	Equipamento em movimento a aceder a <i>web radio</i> , escutando 3 canais.	56
5.19	Relação obtida experimentalmente <i>RSSI</i> -distância.	57

Lista de Tabelas

5.1	Tabela de pontos medidos experimentalmente.	52
5.2	Tabela de correspondência dos valores $RSSi$ -distância.	59

Acrónimos

3G	3rd Generation
4G LTE	4rd Generation Long Term Evolution
ACL	Asynchronous Connection-Less
AES	Advanced Encryption Standard
AOA	Angle of Arrival
AP	Access Point
API	Application Programming Interface
CA	Colision Avoidance
CDMA	Code Division Multiple Access
FH	Frequency Hopping
GLONASS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile Communications (originalmente Groupe Spécial Mobile)
HEC	Header Error Check
ISM	Industrial, Scientific, and Medical
M2M	Machine to Machine
OSI	Open Systems Interconnection
PAN	Personal Area Network
PLCP	Physical Layer Convergence Procedure
PPDU	PLCP Protocol Data Unit
PZ-90	Parametrop Zemp 1990
RADAR	Radio Detection and Ranging
RFID	Radio-Frequency Identification
RSSI	Received Signal Strength indication
RTLS	Real-Time Locating System
RTT	Round-Trip Time
SCO	Synchronous Connection-Oriented

SFD	Start Frame Delimiter
TDD	Time Division Duplex
TDOA	Time Difference of Arrival
TOA	Time of Arrival
UDP	User Datagram Protocol
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
USA	United States of America
U.S DOD	United States Department of Defense
UWB	Ultra-Wideband
WEP	Wired Equivalent Privacy
WGS	World Geodetic System
Wi-Fi	Wireless Fidelity (802.11)
WPA	Wi-Fi Protected Access
WPA2	Wi-Fi Protected Access 2
WPS	Wi-Fi Protected Setup, (originalmente Wi-Fi Simple Config)

Capítulo 1

Introdução

Nos últimos anos observou-se um aumento extraordinário do número de utilizadores das tecnologias de comunicação com e sem fios. De entre elas destacam-se a *Ethernet*, o *GSM* (*Global System for Mobile Communications*), o *Wi-Fi* (*Wireless Fidelity*), o *UMTS* (*Universal Mobile Telecommunications System*) e outras que estão a crescer e a surgir neste momento. Com o desenvolvimento das comunicações sem fios surgem também novas necessidades que conduzem ao aparecimento de novos serviços, como é o caso dos serviços de localização em tempo real. Estes serviços referem-se essencialmente a duas áreas distintas: ambientes interiores e exteriores. No que respeita aos ambientes exteriores, o serviço mais conhecido e amplamente divulgado é o *GPS* (*Global Positioning System*)[1] que, devido às suas características, não pode ser utilizado em ambientes interiores. Este facto levou recentemente ao aparecimento de sistemas de localização interior baseados na tecnologia sem fios já utilizada por empresas e particulares.

1.1 Motivação

Os serviços de localização em tempo real são cada vez mais utilizados, tendo vindo a ganhar importância e a ser aceites como uma tecnologia banal, tornando-se mesmo com o avançar do tempo a base do desenvolvimento de outros serviços. Com vista a uma melhor perceção do seu funcionamento, nada melhor do que desenvolver um sistema em concreto, permitindo desenvolver capacidades e aptidões referentes a sistemas *RTLS* (*Real Time Locating System*).

1.2 Objetivos

Os principais objetivos desta dissertação são:

- Fazer um levantamento dos métodos existentes para o desenvolvimento de sistemas de localização em tempo real;
- Fazer um levantamento das diferentes tecnologias possíveis para o desenvolvimento de sistemas de localização em tempo real;
- Fazer o levantamento das soluções já existentes;
- Desenvolver uma aplicação de localização em tempo real;

- Comparar os resultados obtidos com os resultados fornecidos pelos sistemas já existentes.

1.3 Estrutura

Esta dissertação é composta por cinco capítulos, cada um abordando os seguintes temas.

No primeiro capítulo, Introdução, é apresentado o tema da Dissertação, é feito o seu enquadramento, é exposta a motivação para este trabalho e são indicados os objetivos a alcançar.

No segundo capítulo, Estado de Arte, são apresentados diferentes métodos para a implementação de sistemas de localização em tempo real, sendo ainda descritas as tecnologias sem fios em que se baseiam as implementações destes sistemas. São ainda dados a conhecer os trabalhos desenvolvidos nesta área, bem como as soluções existentes no mercado.

No terceiro capítulo, Considerações/Desenvolvimento, são aprofundadas as tecnologias usadas para este projeto, em conjunto com o método escolhido para o desenvolvimento da aplicação. É referido o ponto de vista de implementação da aplicação bem como o desenvolvimento e implementação da mesma, com a devida justificação para todas as opções tomadas. É igualmente descrito o funcionamento interno da parte de localização, ou seja, o algoritmo utilizado para o cálculo e representação da posição na aplicação.

No quarto capítulo, Configuração da aplicação, todos os algoritmos desenvolvidos são testados de forma a configurar os parâmetros estáticos que dizem respeito á aplicação sensorial, tendo em vista a eficiência e funcionalidade do sistema.

No quinto capítulo, Resultados, são apresentados os resultados obtidos nas experiências realizadas, bem como uma discussão acerca dos mesmos.

No sexto capítulo, Conclusão, são expostas as ilações finais sobre a Dissertação, sendo igualmente mencionadas formas de melhorar os aspetos menos conseguidos num possível trabalho futuro.

Capítulo 2

Estado de Arte

2.1 Tecnologias sem fios usadas nos sistemas de localização

2.1.1 Wi-Fi

Esta é uma tecnologia sem fios para redes de "média" dimensão, largamente divulgada e adotada tanto em ambientes pessoais como industriais. Trata-se de uma rede formada por dispositivos clientes (placas de rede sem fios) e dispositivos de "agregação" (*access point* ou *bridge*). O princípio da tecnologia assenta na divisão do espectro em 13 canais (na Europa, 11 nos *USA* (*United States of America*) e 14 no Japão), que podem ser escolhidos para o funcionamento da rede. Tendo em conta que um sinal *Wi-Fi* ocupa 5 canais, é muito fácil existirem sobreposições, facto que reduz a qualidade do sinal. De modo a evitar estas sobreposições é necessário escolher canais devidamente espaçados, como por exemplo os canais 1, 6 e 11, para operar redes sem fios sem sobreposição.

As redes *Wi-Fi* 802.11 possuem 2 modos de operação, *ad-hoc* e *infrastructure*. O primeiro é uma rede sem fios básica composta apenas por computadores, sem o recurso a *AP* (*Access Point*)/*Routers*. A segunda é uma rede mais complexa, podendo incluir vários computadores e *AP* ou *routers*, formando assim uma rede estruturada de complexidade variável. O primeiro modo de operação tem um custo associado reduzido, contrastando com o segundo cujo custo é mais elevado, embora também permita aumentar a escalabilidade da rede, efetuar uma gestão de segurança centralizada e obter um alcance superior.

O alcance deste tipo de rede é algo variável: no entanto, para ambientes pessoais os valores obtidos variam entre os 30 e os 40 metros para ambientes interiores e 90 a 100 metros para ambientes exteriores (recorrendo a antenas omnidirecionais comuns), para dispositivos com as configurações de origem [2]. Alguns fatores que influenciam bastante o alcance real das redes *Wi-Fi* são a potência final do equipamento, o tipo de obstruções, paredes de tijolo/cimento existentes, armários metálicos, ou ainda o protocolo específico utilizado. No caso do protocolo 802.11a, as obstruções têm um efeito mais notório devido ao facto de a frequência ser mais elevada. A banda utilizada no 802.11a é 5 GHz, enquanto que no 802.11b/g/n se situa na faixa dos 2.4 GHz.

Alguns equipamentos permitem efetuar ajustes de potência ou mesmo trocar as antenas, possibilitando a sua substituição por outras de maior ganho, aumentando assim de forma efetiva a distância alcançada. Existem ainda opções mais específicas recorrendo a antenas direcionais que são usadas em casos pontuais ou quando o interesse é criar ligações de alto débito e/ou longa distância que possam atingir várias dezenas de quilómetros [3].

Ao nível da segurança (no acesso à rede), um aspeto bastante controverso, existem apenas 3 níveis de segurança proporcionados pelos mecanismos *WEP (Wired Equivalent Privacy)*, *WPA (Wi-Fi Protected Access)* e *WPA2 (Wi-Fi Protected Access 2)*: o primeiro pode ser facilmente quebrado em alguns minutos, enquanto que os restantes, apesar de mais eficientes, também podem ser quebrados. Essa tarefa pode levar um tempo considerável, embora em alguns casos seja possível acelerar este processo tirando partido de implementações defeituosas de protocolos que foram adicionados posteriormente (por ex: *WPS (Wi-Fi Protected Setup)*). Em resumo, podemos afirmar que "Um sistema é considerado seguro se o esforço para o comprometer for em muito superior à importância da informação nele contida".

2.1.2 Bluetooth

O *bluetooth* é uma tecnologia de comunicação sem fios, de baixo consumo e com baixa taxa de transmissão, desenhado para comunicações de curto alcance em redes *PAN (Personal Area Network)*. A comunicação é feita através de *FH-CDMA (Frequency Hopping - Code-Division Multiple Access)*, facto que diminui as possibilidades de interferência. A transmissão de dados funciona em *full-duplex*, e é alternada em *slots* (canais) para enviar e receber dados, segundo um esquema denominado *FH-TDD (Frequency Hopping-Time-Division Duplex)*, pelo que cada canal se encontra dividido em períodos de $625\mu s$ (micro-segundos) correspondendo a um salto, o que perfaz um total de 1600 saltos por segundo.

Existem dispositivos *bluetooth* de várias classes, podendo todos comunicar entre si, bastando para isso respeitar a distância máxima conseguida pelo dispositivo que alcançar menor distância:

- Classe 1: potência máxima de 100 mW (mili Watt), alcance até 100 metros;
- Classe 2: potência máxima de 2.5 mW, alcance até 10 metros;
- Classe 3: potência máxima de 1 mW, alcance até 1 metro.

Esta tecnologia opera na faixa *ISM (Industrial, Scientific, Medical)* e a banda utilizada varia entre os 2.4 - 2.5 GHz. Dependendo do país, podem ser utilizadas 79 ou 23 frequências espaçadas de 1 MHz. Existem 2 modos de ligação entre o emissor e o recetor: *SCO (Synchronous Connection-Oriented)* e *ACL (Asynchronous Connection-Less)*. O primeiro é o mais indicado para comunicações contínuas de dados (voz), sendo efetuada uma reserva de canais para cada emissor e recetor e não ocorre retransmissão de pacotes perdidos; o segundo utiliza os canais livres para transmitir os dados, garantindo a sua integridade e permitindo a retransmissão de pacotes perdidos, sendo útil para transferência de arquivos [4].

2.1.3 ZigBee (sobre 802.15.4)

É uma tecnologia sem fios, desenvolvida para ser de baixo custo, baixo consumo, apresentar uma baixa taxa de transferência, ser fácil de usar, segura, possibilitar uma longa duração da bateria dos dispositivos e ser utilizada em redes *M2M (Machine to Machine)*. Opera em bandas não licenciadas, 2.4 GHz, 900 MHz e 868 MHz. Esta tecnologia foi desenhado para comunicação em ambientes de radio-frequência hostis, tanto comerciais como industriais. O protocolo suporta múltiplas tecnologias de rede, ponto-a-ponto, ponto-multi-ponto ou malha; é caracterizado por *low duty-cycle*, *low latency*, permite até 65000 pontos por rede, encriptação

de 128bit *AES* (*Advanced Encryption Standard*) para ligações seguras, possuindo ainda um método de *CA* (*Colision Avoidance*).

Existem 3 tipos de dispositivos: *zigbee coordinator*, *router* e *End Device*. O primeiro é o mais completo, é a raiz da rede (existe apenas um por rede) e o gestor de segurança, podendo fazer a ligação entre redes e guardar a informação de cada rede. O segundo (*zigbee router*), para além de permitir correr aplicações, age como *router* intermediário. Por fim, o terceiro tipo (*zigbee end device*) pode apenas comunicar com o nó da rede imediatamente superior, não lhe sendo permitido retransmitir dados de outros dispositivos, tornando-o bastante eficiente [5].

2.1.4 GSM

Abreviatura de *Global System for Mobile Communications*, foi criado principalmente para comunicação de voz. Trata-se de um sistema de telefone móvel digital largamente usado na Europa e noutros países do mundo, baseando-se numa adaptação do *TDMA* (*Time Division Multiple Access*). O *GSM* digitaliza e comprime os dados, enviando-os seguidamente por um canal juntamente com outros 2 fluxos de dados, cada um no seu *time-slot* (intervalo temporal pré-definido). A utilização deste serviço surgiu em 1991 na Finlândia. [6].

Embora tenha sido originalmente projetado para operar na banda dos 900MHz, rapidamente foi adaptado para trabalhar na banda dos 1800MHz. A introdução desta tecnologia na América do Norte levou mais tarde à sua adaptação para as bandas de 800 e 1900MHz. Com o passar dos anos, a versatilidade do sistema culminou em muitas adaptações com frequências específicas para nichos de mercado. Inicialmente desenhado maioritariamente para comunicação de voz, cedo foram notadas aptidões para integração de outros serviços, dando origem à geração da comunicação de dados que se seguiu e sofrendo muitas evoluções até aos dias de hoje, em que já é possível efetuar chamadas de vídeo usando esta tecnologia [7].

2.2 Métodos de localização

Existem vários métodos para estimar a posição de utilizadores *Wi-Fi* (802.11 a 2.4GHz) num espaço a duas dimensões. Estes espaços podem ser de dois tipos, espaços exteriores e interiores.

Os métodos mais explorados são: *TOA* (*Time of Arrival*); *TDOA* (*Time Difference of Arrival*); *AOA* (*Angle of Arrival*); *RSSI* (*Received Signal Strength indication*) e *Nearest cell*, cada um apresentando as suas vantagens e desvantagens.

2.2.1 Time of Arrival (TOA)

Existem duas opções de implementação deste método, uma ao nível da camada física que requer a alteração de protocolos de comunicação, e outra ao nível da camada de dados, baseada em estatística para permitir o uso de uma placa de rede sem fios comum.

Na primeira opção, semelhante ao funcionamento do sistema *RADAR* (*Radio Detection and Ranging*) clássico, o dispositivo *RADAR* emite um impulso que atinge um objeto e é refletido de volta ao dispositivo, que inclui também um recetor. O dispositivo calcula a diferença entre os 2 instantes de tempo, que varia de forma linear com a distância a que se encontra o objeto.

Para implementar este sistema em *Wi-Fi* podemos considerar o *probe request* como o impulso a ser enviado e o *ack (acknowledgement)* enviado pelo *AP* correspondente ao *probe request* como a reflexão do impulso recebido. No entanto, ao contrário do conceito de *RADAR*, em *Wi-Fi* existe um atraso não determinístico entre a recepção do *probe request* e o envio do *ack* referidos anteriormente. Esta variação, na ordem dos $5\mu s$, tem um impacto estrondoso pois introduz um erro de 1.5km na distância obtida. A forma de contornar este problema é o *AP* reenviar ao recetor o tempo decorrido entre a recepção do *probe request* e o envio do *ack*, encapsulando o atraso observado no pacote *probe response* enviado (*probe response w/data*). Assim, a máquina inicial que envia o *probe request* pode calcular o tempo correto da viagem [8], tal como se pode observar na imagem abaixo.

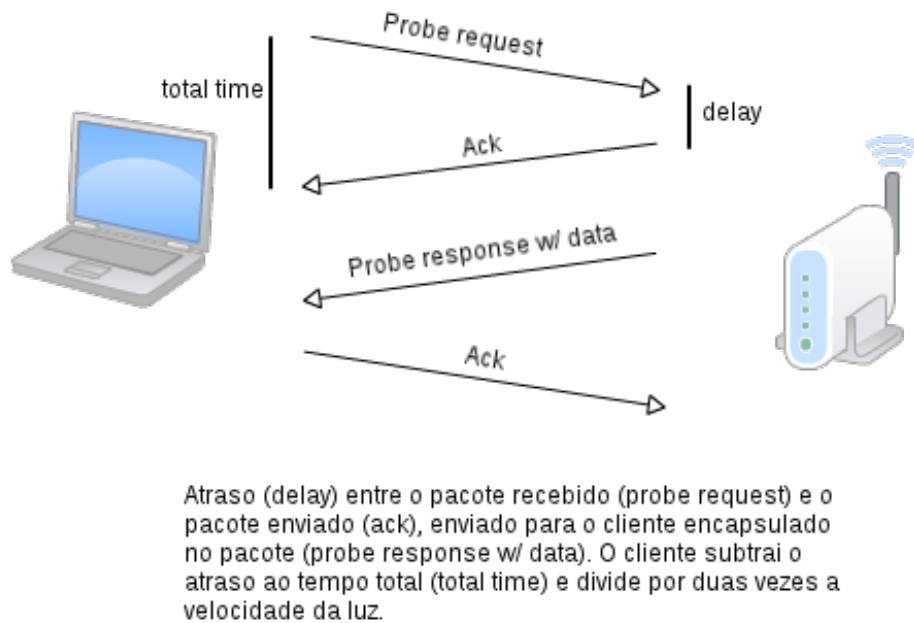


Figura 2.1: Medição *RTT* segundo Stuart A. Golden

Na segunda opção é medido o *RTT (Round-Trip Time)* ao nível da camada de dados do modelo *OSI (Open Systems Interconnection)*. Com vista a diminuir as imprecisões temporais é necessário clarificar alguns pontos. Ao invés do *ping request-reply*, é agora utilizada a sequência de pacotes de dados e os correspondentes *ack*, porque o *ping reply* está dependente do sistema operativo e consequentemente de um atraso altamente variável, enquanto que um *ack* é tratado no *hardware* da própria placa de rede sem fios e apresenta um atraso altamente previsível. Relativamente ao tempo de processamento em *hardware*, é suposto ser um padrão definido pelo IEEE 802.11, passível de se assumir que seja igual em ambas as placas sem fios, embora na prática nem todas as placas estejam de acordo com o padrão/norma e estejam dependentes do *hardware* e *firmware*, tornando assim necessário ter em conta um modelo específico de atraso para cada placa.

Os tempos de envio e recepção são medidos no próprio *hardware* da placa de rede sem fios pelas razões já indicadas anteriormente, embora a resolução dos tempos se situe na ordem do micro segundo, o que é claramente insuficiente já que a variação de $1\mu s$ corresponde a 300 metros de diferença. São utilizados fenómenos como o ruído gaussiano, ressonância estocástica

e "beat frequencies" como métodos estatísticos destinados a aumentar a precisão temporal e consequentemente espacial [9].

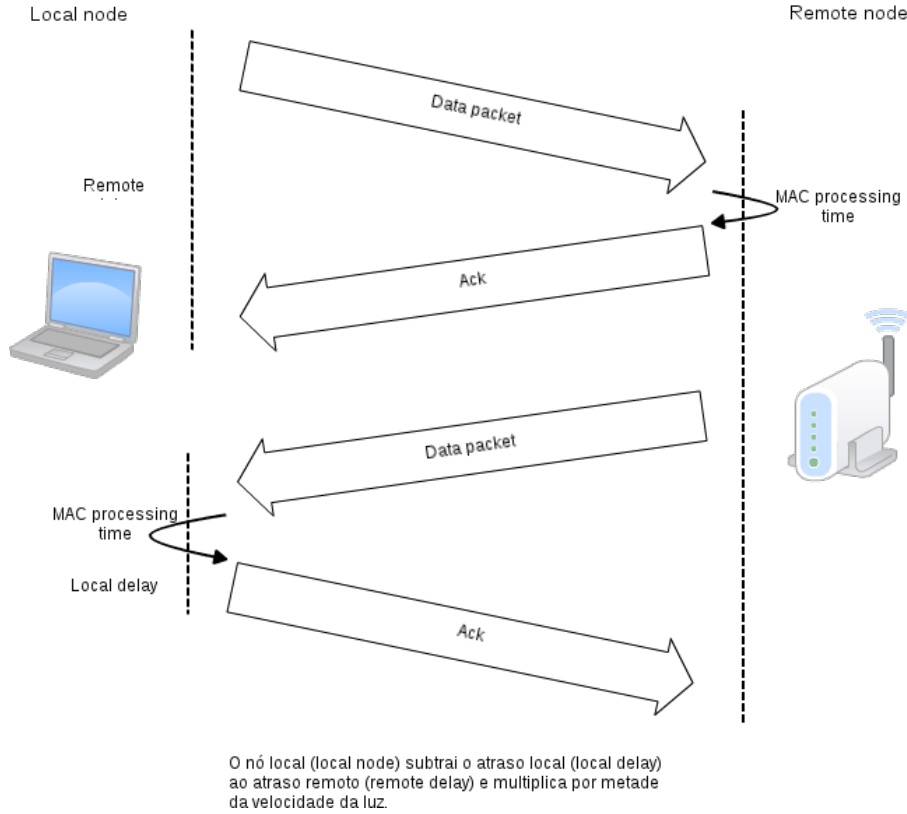


Figura 2.2: Medição *RTT* segundo Christian Hoene

Com a obtenção do *RTT* é possível convertê-lo em distância e, aplicando o princípio da trilateração, resolver as equações da distância euclidiana para estimar a posição do equipamento. A utilização deste método não possibilita um sistema de localização em modo passivo, uma vez que tem que existir sempre comunicação entre os 2 dispositivos.

2.2.2 Time Diference of Arrival (TDOA)

Este método estima a posição de um equipamento calculando a sua posição com base na diferença temporal em que o mesmo sinal enviado por um equipamento é recebido em vários sensores (*AP*). É necessário que os relógios dos *AP* estejam sincronizados, sob pena de a localização ter um erro bastante significativo, inutilizando esta opção. Para uma localização a 2D são necessários 3 sensores e as suas posições, de forma a serem calculadas duas diferenças temporais que posteriormente são convertidas para distâncias, cada uma definindo uma hipérbole de posições possíveis para o equipamento. A posição final é estimada pela intersecção das duas hipérbolas. À semelhança do método *TOA*, é bastante importante a precisão permitida pelos relógios dos sensores e a exatidão da sua sincronização, que convém ser da ordem do nano segundo ($3 \mu s$ provocam um erro de 1 metro), pois no caso de ser de $1 \mu s$ o erro causado é de 300 m, muito superior ao alcance normal da tecnologia em si (notavelmente pior que o algoritmo *Nearest Cell*) [10].

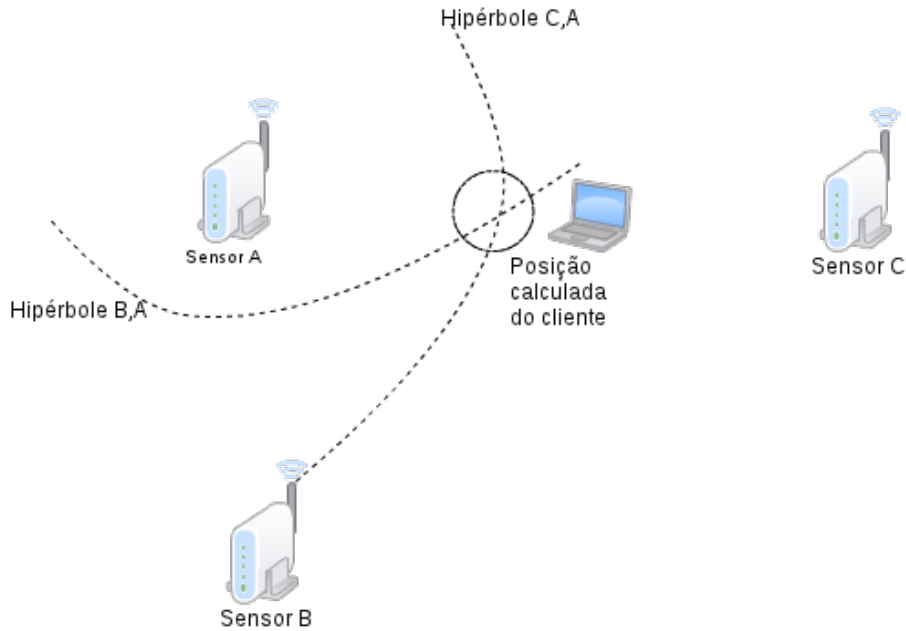


Figura 2.3: Cálculo da posição com *TDOA*.

2.2.3 Angle of Arrival (AOA)

Este método baseia-se na direção do ângulo do sinal recebido num sensor. Entende-se por sensor, neste caso, um vetor circular de antenas direcionais que cubram 360° (quanto maior a quantidade de antenas, menor o ângulo que cada antena abrange e maior a exatidão da posição obtida). Na verdade, o sinal é recebido em todas as antenas perfazendo os 360° do sensor, mas a intensidade com que este é recebido em cada antena varia, e a antena que capta o sinal com maior intensidade é teoricamente a que está apontada em linha reta para o dispositivo escutado. Na prática, não se verificam as condições ideais, existem reflexões, obstrução da linha de visão, as antenas têm uma irradiação irregular, o que provoca variações na intensidade da onda de acordo com a direção desta.

São necessários apenas 2 sensores não colineares com o equipamento móvel para estimar uma posição a duas dimensões. Os 2 sensores, em antenas posicionalmente desfasadas, captam em simultâneo a mesma onda emitida por um equipamento móvel, permitindo assim o cálculo do ângulo entre a direção da onda recebida. Sabendo a posição dos 2 sensores e o ângulo com que a mesma onda os atinge é possível calcular o ponto de interseção das duas retas que simulam a direção da onda que incide em cada sensor, ponto esse que representa a localização teórica do equipamento [11].

A exatidão deste método não é altamente dependente da sincronização do relógio, como nos métodos *TOA* e *TDOA*, visto que a necessidade de sincronização neste caso é proporcional à velocidade com que o equipamento se movimenta. Outras técnicas para medir os ângulos entre os nós são descritas nos artigos [12] e [13].

De referir que esta opção necessita de *hardware* específico o que implica custos adicionais elevados.

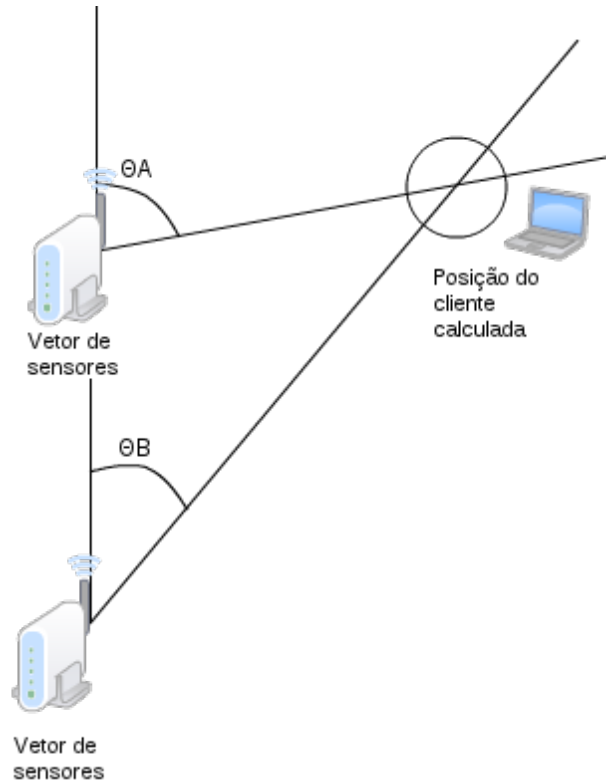


Figura 2.4: Cálculo da posição usando o método AOA.

2.2.4 Nearest cell

Este método de localização "*nearest cell*" ou "*associated access point*" em *Wi-Fi* baseia-se na proximidade de um equipamento a uma dada célula, ou seja, quando existe uma ligação entre um equipamento e uma célula, esse equipamento está na área de cobertura da célula. Este mecanismo é bastante simples de implementar e não necessita de recorrer a algoritmos complexos, pelo que é bastante rápido e consome poucos recursos. Por omissão, a ligação é com a célula que lhe permite maior sinal, o que na generalidade dos casos se traduz na célula mais próxima. No entanto, há exceções em que a ligação se mantém com outra célula, forçada pelo próprio equipamento ou pelas condições do meio. Esta situação ocorre quando existem áreas de cobertura sobrepostas e é bastante comum porque a área de cobertura de cada célula não é igual e, porque apesar de o modelo de representação destas ser hexagonal, na realidade este fica entre a representação hexagonal e circular. Como se pode facilmente entender, este método de cálculo da posição deixa algo a desejar, e é pior (menos exato) quanto maior for a área de cobertura da célula, pelo que pode ser combinado com outros métodos com vista a obter uma maior exatidão [14].

2.2.5 Received Signal Strength indication(RSSI)

Este método divide-se em duas opções distintas: o princípio de trilateração e *fingerprint*. No método *fingerprint* é necessário criar um mapa com os vários AP detetados numa determinada área, analisar o mapa dos valores de *RSSI* para definir quais os pontos onde se devem

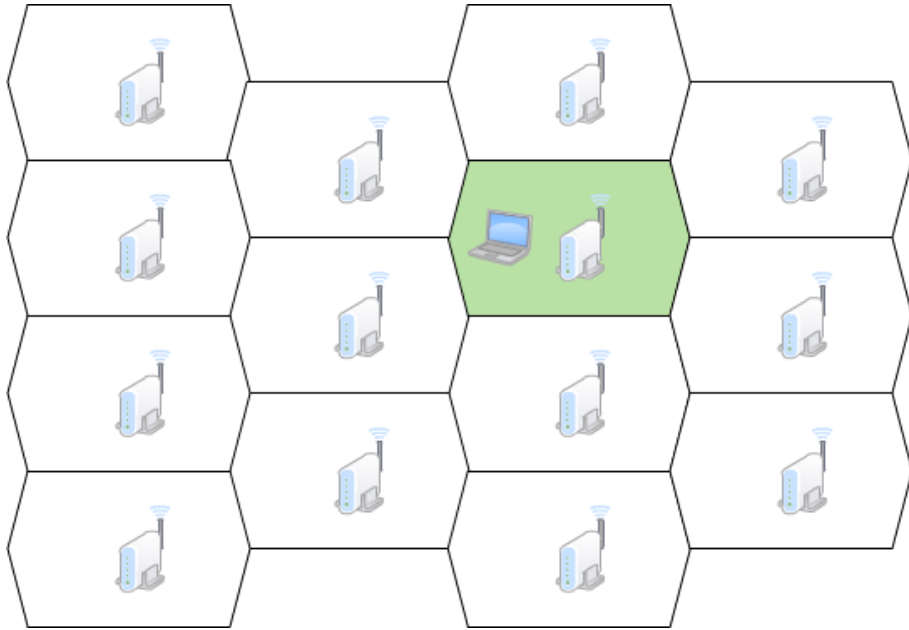


Figura 2.5: Estimar a posição através do método *nearest cell*.

efetuar as medições e então proceder às medições da intensidade do sinal recebido dos diferentes *AP* nos pontos definidos.

Trilateração baseia-se no pressuposto de medir a distância " r " entre um *AP* e um equipamento, o que pode ser conseguido aproximadamente traduzindo a potência do sinal recebido em distância. Conhecendo as coordenadas dos *AP*, é possível pela distância euclidiana encontrar a intersecção das circunferências de raio " r " e assim calcular a posição do cliente. Desta forma, é possível estimar a posição do cliente através da medição da força do sinal recebido pela placa de rede sem fios, sendo para isso necessários no mínimo 3 *AP* (para uma localização a 2D) em 3 posições distintas (preferencialmente não colineares).

A dificuldade mais relevante é a conversão da potência de sinal para distância [15]. Através da utilização de tabelas de medições para uma área específica (*lookup tables*) é possível reduzir o número de *AP* necessários, comparando a força do sinal recebido com as entradas da tabela. No entanto, esta aproximação tem algumas condicionantes: é necessário efetuar medições para cada área, porque áreas diferentes têm associada uma propagação diferente do sinal; no caso dos objetos de uma determinada área mudarem de posição, é necessário voltar a medir todos os pontos dessa área.

A exatidão da posição calculada está diretamente relacionada com a disposição física dos objetos e a quantidade de pontos onde as medições são efetuadas: quanto mais pontos são tidos em conta para a mesma área, maior exatidão se consegue obter, embora sempre limitada pela potência de sinal transmitida pelos *AP*.

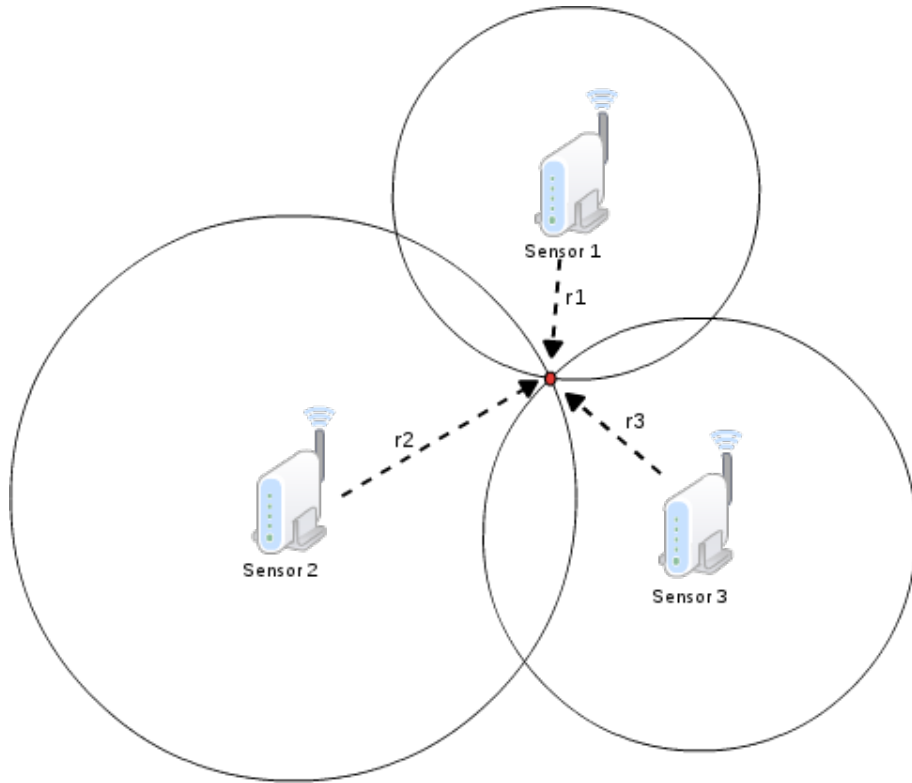


Figura 2.6: *RSSI* através de trilateração.

2.3 Sistemas de posicionamento global

2.3.1 GPS

O sistema de posicionamento global (*GPS*) foi criado pelo *U.S DOD (United States Department of Defense)* para ajudar na localização precisa em cenários de conflitos e recorria inicialmente a 24 satélites. Existem também outros sistemas de localização: *GLONASS (The Russian GLObal NAVigation Satellite System)* também inicialmente desenvolvido para fins militares e disponibilizado aos civis em 2007, o sistema *Galileo* da União Europeia (*Galileo positioning system*), o *Chinese Compass navigation system*, e o *Indian Regional Navigational Satellite System*. Desde a sua criação que o sistema *GPS* vem sendo atualizado.

O funcionamento do *GPS* baseia-se na existência de satélites em órbita que cobrem permanentemente "toda" a superfície terrestre. Os satélites encontram-se continuamente a enviar mensagens com o tempo a que a mensagem é enviada e a posição do satélite. Com as mensagens enviadas pelos satélites, o recetor de *GPS* pode calcular a distância a que estes se encontram; com as posições conhecidas dos satélites e o auxílio da trilateração ou de outros algoritmos é possível estimar a posição do recetor. Idealmente são necessários apenas 3 satélites, no entanto por norma são usados 4 ou mais para obter melhores resultados. A fonte de erro mais significativa no *GPS* está relacionada com o relógio do recetor, visto que atendendo à grandeza da velocidade da luz um erro de $1\mu s$ faz com que a estimativa da posição do recetor de *GPS* possa variar 300 metros. Isto exigiria relógios bastante precisos e consequentemente caros, pelo que os fabricantes preferem abdicar desse requisito e tirar partido de

um maior número de satélites para diminuir o erro da posição estimada. O *GPS* usa várias frequências na gama de 1 GHz a 2 GHz, sendo as mais importantes L1 (1575.42 Mhz) e L2 (1227.60 MHz). A título de curiosidade existem outras frequências para vários fins, incluindo um sub-sistema mais preciso usado essencialmente para fins militares governamentais e alguns utilizadores civis devidamente autorizados [16] [17].

2.3.2 GLONASS

Trata-se do Sistema de Navegação Global por Satélite russo equivalente ao Sistema de *GPS* norte-americano de navegação por satélite. O desenvolvimento do *GLONASS* começou na União Soviética em 1976. Foram lançados vários satélites entre 1982 e 1995, ano em que ficou concluída a rede de satélites do sistema. A sua operacionalidade variou, assim como o número de satélites que iam atingindo o final da sua esperança de vida. Durante a década de 2000 iniciou-se o restauro do sistema sob a alçada do estado, com o apoio do então presidente da Rússia Vladimir Putin e com um financiamento avultado, sendo atualmente o programa mais caro da Agência Espacial Federal Russa.

O *GLONASS* é hoje constituído por 24 satélites espalhados por três níveis orbitais equidistantes com oito satélites em cada um, tendo a sua cobertura global sido completada apenas em Outubro de 2011. É portanto um sistema alternativo ao *GPS* americano e ao *Galileo* europeu (este ainda em desenvolvimento). Os planos orbitais têm inclinação de 64.8° , maior que os do *GPS* que têm 55° : isto traduz-se num benefício para os utilizadores das latitudes altas e baixas, já que os satélites *GLONASS* viajam muito mais ao norte, ou sul, que os satélites *GPS*. Os satélites *GLONASS* orbitam a uma altitude de 19,100 km, mais baixa que a órbita do *GPS*, que é de 20,200 km. Esta órbita mais baixa possibilita que os satélites *GLONASS* completem uma volta completa em torno da Terra em 11 horas e 15 minutos, contra as 11 horas e 58 minutos para a órbita do GPS.

As frequências usadas pelo *GLONASS* são: 1602 MHz (L1) para o sinal *SP* (*Standard Precision*) e 1246 MHz (L2) para o sinal *HP* (*High Precision*).

O sistema *GLONASS* engloba 3 gerações de satélites, *GLONASS*, *Glonass-M* e *Glonass-K*, da mais antiga para a mais recente. Com a evolução das gerações de satélites, também aumentou a sua precisão. Para os satélites de primeira geração, no pico de eficiência o sinal *SP* permite um posicionamento vertical na ordem dos 5-10 metros, e 15 metros na orientação vertical.

O *GLONASS* usa um sistema de coordenadas *PZ-90* (*Parametrop Zemp 1990*) em que a localização precisa do polo norte era inicialmente dada pela média da sua posição entre 1900 e 1905, sendo actualizada em Setembro de 2007 para a posição com uma diferença inferior a 40 cm da posição do *GPS* que utiliza o sistema de coordenadas *WGS 84* (*World Geodetic System 1984*) que define a localização do polo norte pela sua localização no ano de 1984, atualizado posteriormente em 2004 [18] [19] [20] .

A precisão de ambos os sistemas (*GSP* e *GLONASS*) é semelhante e ronda os 3 metros, mas pode variar consoante o número de satélites. [17] [21]

2.4 Soluções existentes

2.4.1 Ekahau

Trata-se de uma empresa líder na indústria, que de momento já inclui bastantes opções em torno dos produtos *RTLS* baseados em redes *Wi-Fi*. O método de localização baseia-se apenas em *software*, utilizando para isso os *AP* existentes e umas etiquetas (*tags*) que acompanham as pessoas e medem o sinal proveniente dos *AP*, possibilitando assim a localização das mesmas. A calibração do *software* é feita de modo experimental subdividindo cada divisão em áreas reduzidas, medindo e registando os valores obtidos em cada ponto (*fingerprint*), conseguindo atingir uma precisão de 1-3 metros segundo a página do fabricante. As aplicações estendem-se por uma vasta área, desde localização de pessoas em hospitais até controlo de acessos [22].

2.4.2 AeroScout

Trata-se de um sistema *RTLS* baseado em tecnologia *Wi-Fi* e *RFID* (*Radio-Frequency Identification*) para espaços interiores e exteriores, que usa métodos como *TDOA* e *RSSI* para estimar a localização. É um sistema mais complexo e avançado, que recorre ao uso de diversas tecnologias, aumentando assim o leque de utilização das tecnologias com o propósito de localização. Permite ainda integrar sistemas de *GPS* para complementar a localização exterior. Este sistema encontra-se referenciado para soluções de localização na área da saúde, ambientes industriais e outros (educação, logística, transportes) [23].

2.4.3 Inner wireless

Antiga *PanGo Networks*, que em 2007 foi adquirida pela *Inner Wireless*, é uma empresa mais focada para a implementação de redes sem fios a nível empresarial/industrial, utilizando as mais variadas tecnologias existentes no mercado, *Wi-Fi*, *3G* (*3rd Generation*)+ *GSM*, *4G LTE* (*4rd Generation Long Term Evolution*), *2-way radio*, com vista à otimização da sua cobertura, essencialmente em ambientes interiores onde a eficiência pode ser um fator crítico, como na área da saúde e áreas governamentais. Conta ainda com um serviço de planeamento de instalação de redes de raiz na fase de construção de edifícios [24].

2.4.4 N-Core

Empresa de implementação de redes sem fios *zigbee* que também oferece serviços de localização em ambientes interiores, utilizando tanto *software* como *hardware* específico, fornecendo ainda uma *API* (*Application Programming Interface*) para o desenvolvimento de *RTLS*. A localização é baseada no sistema *Polaris*, que afirma ter elevada precisão e flexibilidade recorrendo a algoritmos de localização inovadores. Outras palavras chave são alta escalabilidade, implementação rápida e simples, baixos custos de implementação e manutenção, permitindo ainda a integração com sensores/atuadores da mesma infraestrutura [25].

2.4.5 AwarePoint

Empresa focada na prestação de serviços *RTLS* na área da saúde, baseando-se essencialmente na tecnologia *zigbee*. Funciona com uma solução mista de *hardware* e *software*, para os sensores e *tags* de localização. Para além de permitir a localização de pessoas e equipamentos médicos com uma precisão ao nível de cada divisão, permite aumentar a eficiência do fluxo de trabalho.

Trata-se de um sistema de rápida implementação (algumas semanas), bastante económico e pouco intrusivo para os hospitais, sem necessitar de calibração dos equipamentos, altamente escalável e facilmente modificável [26].

2.4.6 Pinpoint

Empresa prestadora de serviços *RTLS* mais focada para as áreas da saúde e educação. Apresenta uma estrutura semelhante aos concorrentes, recorrendo a tecnologia *RFID* para as *tags* de localização combinada com a rede *Wi-Fi*, sem que seja necessário expandir esta infraestrutura. Dispõe de aplicações livres para dispositivos móveis, para além de portáteis e afins [27].

2.4.7 Ubisense

Trata-se de uma empresa que pretende aumentar o rendimento e a qualidade em diversos sectores de produção através do recurso a sistemas *RTLS* maioritariamente interiores. Apresenta vários produtos para aumentar a eficiência em linhas de produção e montagem. Para estimar a posição recorre aos métodos *TDOA* e *AOA* aplicados a dispositivos que funcionam na gama *UWB* (*Ultra-Wideband*) [28].

Capítulo 3

Desenvolvimento da aplicação

3.1 Informação relevante/adicional sobre Wi-Fi

O *RSSI* é um parâmetro opcional que tem um valor de 0 a *RSSI* máximo. Este parâmetro é medido na camada física do modelo *OSI* através da energia recebida na antena usada para receber o *PPDU* (*PLCP Protocol Data Unit*) corrente. O *RSSI* deve ser medido entre o início do *SFD* (*Start Frame Delimiter*) e o final do *PLCP HEC* (*Physical Layer Convergence Procedure Header Error Check*). Deve ser considerada uma medida relativa, uma vez que a precisão absoluta da leitura de um valor de *RSSI* não é especificada (varia consoante o *hardware* e *driver* da placa de rede sem fios). Por exemplo, as placas da Cisco utilizam uma escala de 100, enquanto as placas *atheros* apenas recorrem a uma escala de 60 unidades, ou seja, as placas da Cisco têm neste caso maior resolução [29].

O modo monitor possibilita à placa de rede sem fios capturar pacotes sem se encontrar associada com um *AP*, ou rede *ad-hoc*. Esta característica é desejável quando se pretende monitorizar um canal específico e não é necessário enviar pacotes. De facto, nem sempre é possível transmitir pacotes em modo monitor, este aspeto está dependente da capacidade das *drivers* usadas pela placa de rede sem fios. Outro aspeto relativamente ao modo monitor é que a placa de rede não tem em linha de conta se os valores *CRC* se encontram corretos ou não para pacotes capturados neste modo, o que coloca a hipótese de serem obtidos pacotes corrompidos. O modo promíscuo permite obter todos os pacotes de uma rede sem fios à qual se está associado. A necessidade de associação garante a autenticação do cliente com o *AP*. Mais uma vez, nem todas as *drivers* suportam o modo promiscuo [30] [31].

3.2 Informação relevante/adicional sobre Bluetooth

No caso da tecnologia *bluetooth* há dispositivos que têm a habilidade de controlar a potência de saída da ligação física com vista a otimizar/aumentar a eficiência do dispositivo. Existe um intervalo de preferência para o funcionamento do dispositivo, com o qual o valor do *RSSI* medido é comparado, possibilitando aos dispositivos ajustar a potência automaticamente no caso desta não exceder os limites (superior ou inferior) para o bom funcionamento do dispositivo de acordo com a classe a ele aplicada. Se o dispositivo recetor não suportar mensagens de controlo de potência, o transmissor não pode usar potências da classe 1, ficando limitado apenas às classes 2 e 3. No caso de um dispositivo de classe 1 estar a "obter valores" muito perto de outro dispositivo, a potência de entrada pode ser superior ao necessário

e provocar a falha da resposta do dispositivo recetor, pelo que pode ser necessário reduzir a potência de saída correspondente a um dispositivo de classe 2 ou 3.

RSSI with inquiry results - Esta característica indica se o dispositivo é capaz de enviar os valores de *RSSI* obtidos.

Power control requests - Esta característica indica se o dispositivo é capaz de determinar se a potência do dispositivo emissor deve ser ajustada e comunicar a necessidade do ajuste, caso se verifique ser necessário. É possível ajustar a potência mesmo que o dispositivo não permita leituras de *RSSI*.

Read RSSI command - Este comando retorna o valor da diferença entre o *RSSI* medido e os limites do intervalo de preferência para o identificador da ligação com outro dispositivo. O identificador tem que corresponder a uma ligação do tipo ACL. Qualquer valor positivo de *RSSI* retornado pelo controlador indica quantos decibéis o *RSSI* está acima do limite superior, ou no caso de ser negativo, abaixo do limite inferior. No caso de ser 0 é porque o *RSSI* se encontra no intervalo de preferência. A precisão do valor dos *dB* depende do *hardware*. Os únicos requisitos para o *hardware* é o dispositivo poder dizer se está acima, abaixo, ou no intervalo de preferência. As medições de *RSSI* comparam a potência de sinal com os 2 limites do intervalo. O intervalo inferior corresponde a uma potência recebida entre -56 dBm e 6 dB acima da sensibilidade do dispositivo. O limite superior é 20 dB acima do limite inferior com uma precisão de ± 6 dB [32].

3.3 Ponto de vista da aplicação

Este tipo de aplicações de estimação do posicionamento através de redes sem fios tem várias abordagens possíveis do ponto de vista da implementação. O cliente está integrado no sistema e pretende saber a sua posição, ou o cliente e o sistema são duas entidades sem relação entre si, caso em que o sistema de localização permite calcular a posição de qualquer cliente ativo presente na sua área.

No primeiro caso, em que o cliente comunica com o sistema, para ser capaz de inferir a sua posição é necessário que exista uma ligação entre si e a rede. Esta deve estar dotada de mecanismos que permitam a localização dos dispositivos, através de um servidor para onde a aplicação cliente comunica quais os valores da potência de sinal que observa dos diferentes *AP* da rede. A forma como estes valores são obtidos depende do desenvolvimento da aplicação, recorrendo a *handover*, alternando o modo da placa, ou outros, para que seja possível obter os valores dos diferentes *AP* sem degradar o funcionamento da mesma. No servidor são recebidos os valores relativos a esse cliente, é calculada a sua posição mais provável, sendo seguidamente reenviada para o cliente. Seria possível o funcionamento desta aplicação sem ligação à rede, mas tal iria aumentar significativamente o seu grau de complexidade/processamento, visto ser a própria aplicação a efetuar os cálculos e a necessitar de ter conhecimento da posição de todos os *AP* e das possíveis *lookup tables* existentes. Tendo em conta que não faz muito sentido utilizar o conceito de localização em dispositivos fixos (que não possuem restrições ao nível da energia disponível) porque a sua localização é estática, nos dispositivos móveis por outro lado existe a questão do tempo de operação da bateria, que pode sofrer uma diminuição considerável com esta abordagem, tornando preferível a arquitetura cliente/servidor. No segundo caso, (que foi o escolhido para o desenvolvimento desta Dissertação de Mestrado) não é necessário que o cliente se encontre ligado à rede em que o sistema se encontra presente, bastando que o cliente esteja a transmitir pacotes através da placa de rede sem fios, seja para

outra rede ou simplesmente a injetar pacotes para o "ar/meio" sem existir sequer conectividade com uma rede quando o equipamento inicia o processo de ligação a uma rede, ou quando o próprio está a difundir uma rede.

Do ponto de vista da precisão da estimativa obtida, é possível notar diferenças entre os 2 casos, se tivermos em linha de conta que normalmente um *AP*, devido à sua função específica, pode na prática debitar potências mais elevadas quando comparado com uma placa de rede sem fios comum de um equipamento móvel/computador pessoal, tendo assim a atenuação de sinal um efeito mais notório em ambientes interiores com uma placa de rede comum, traduzindo-se num alcance mais reduzido. Excetuando-se os casos em que os equipamentos possuam placas de alto desempenho, outro facto que contribui para a variação da precisão obtida é o número de sensores existentes: teoricamente quanto maior o número de sensores numa determinada área, maior a precisão das posições calculadas, embora para quantidades superiores a uma dezena o ganho seja residual.

3.4 Características da aplicação

Para as medições iniciais da aplicação foram considerados 2 estados possíveis da máquina: inativa, em que esta se encontra ligada mas sem que o utilizador esteja a interagir com ela (sem existir comunicação voluntária com a rede, por ex: descarregar ficheiros, acesso a páginas *web*, etc..), estando concretamente a ouvir música através de *webradio*. Posteriormente foi sugerida uma experiência com base numa utilização comum, em que o utilizador navega por várias páginas, sem *streaming* associado. Estas variantes do estado da máquina têm implicações ao nível do intervalo de tempo com que são obtidos registos adjacentes dos valores do *RSSI*, obtendo assim um maior ou menor desfasamento temporal entre a posição real e a posição estimada.

A aplicação permite que a escuta se efectue em um ou mais canais, tendo em conta que a escuta se mantém um determinado tempo em cada canal, 100 ms. É relevante realçar que no caso de percorrer todos os canais, esse varrimento tem associado um intervalo de tempo necessário de 1.3 s (13 canais x 0.1 s), que é superior ao intervalo de tempo com que são registados os valores (1 s), o que pode fazer com que surjam valores repetidos para medidas adjacentes. Com o intuito de anular este problema, existem duas possibilidades: ou diminuir o tempo que se escuta em cada canal, ou efetuar a escuta em menos canais. Ao diminuir o tempo de escuta em cada canal, está-se a restringir ainda mais um intervalo já de si diminuto, o que pode provocar a não captura de pacotes provenientes de alguns equipamentos. Ao diminuir o número de canais a escutar (o ideal é apenas um canal), garante-se que não há perda de valores numa situação ótima, embora obviamente o número de máquinas detetadas nesse caso irá ser menor, pois apenas são detetadas as que comunicam nesse mesmo canal.

No entanto, tomar como opção apenas um canal pode ser algo limitativo para redes médias/grandes que incorporam uma quantidade considerável de *AP*. Devido à sua configuração, habitualmente *AP* adjacentes operam em canais diferentes, o que faz com que o cliente ao trocar de *AP* altere também o canal em que está a comunicar e deixe assim de ser detetado pela aplicação. Neste caso, uma opção é escutar apenas os canais utilizados pelos *AP* na área que se está a analisar. Tendo em conta que os canais adjacentes têm sobreposição de sinal, dependendo das configurações, são escolhidos normalmente 3 canais que não se sobrepõem para a operação dos *AP*, sendo esses os canais indicados para se escutar de modo a otimizar o desempenho da aplicação. Embora seja uma boa escolha, pois por serem

poucos canais a perda de valores é muito reduzida, a redução máxima da perda de valores é obtida com apenas um canal. Existem ainda *AP* que possibilitam a troca de canais de forma automática se detetarem uma ocupação elevada no canal em que estão a transmitir e se existir outro canal com uma ocupação relativamente baixa. No caso em que os canais opcionais são especificados *a priori* no *AP* é possível contornar esta desvantagem indicando à aplicação os canais a escutar; caso este mecanismo do *router* seja completamente automático, a única forma de minimizar esta desvantagem é indicar os canais possíveis mais prováveis, de acordo com a experiência do utilizador.

3.5 Desenvolvimento e implementação

O sistema é composto por sensores que podem ser placas de rede sem fios ou *AP*. Neste caso em concreto foram usadas 3 placas de rede internas com *chipset atheros*, duas com antenas externas de 2 mini-computadores *zotac* e uma com antena interna (de um portátil *acer*) a correr a aplicação sensorial, estando os 3 computadores ligados por rede cablada a um quarto PC que corre a aplicação servidora. Os testes do sistema, medições potência-distância, comparação entre a posição estimada e a posição real, foram realizados utilizando um outro portátil com uma placa de rede *Intel PRO Wireless 2200BG*.

Em relação ao registo dos dados/*log* obtidos pela aplicação para posterior reprodução, existem duas opções possíveis: guardar no mesmo ficheiro os dados de todas as máquinas escutadas, ou guardar os dados separados por diferentes ficheiros, contendo cada ficheiro os dados relativos a uma máquina específica. A identificação da máquina é o seu *MAC address*, que é utilizado como nome do ficheiro. A opção escolhida foi a segunda, uma vez que permite uma maior agilização e eficiência da aplicação, evitando a replicação de dados e a consequente utilização de recursos desnecessários.

A aplicação sensorial capta os valores da potência do sinal e envia-os para a aplicação servidora.

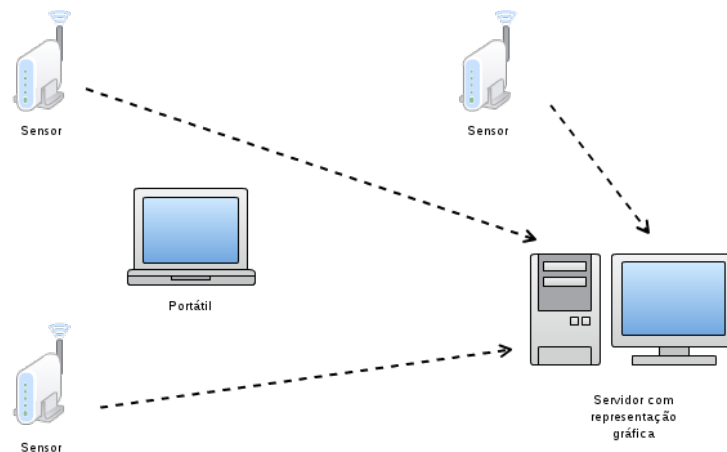


Figura 3.1: Todos os sensores enviam as medidas do equipamento para a aplicação servidora.

Por sua vez, esta agrupa os dados numa estrutura com o identificador da máquina (*MAC address*) e por sensor que obteve a medida, ao mesmo tempo que regista todos os valores obtidos de uma máquina no ficheiro, com o respetivo *MAC address* para posterior representação

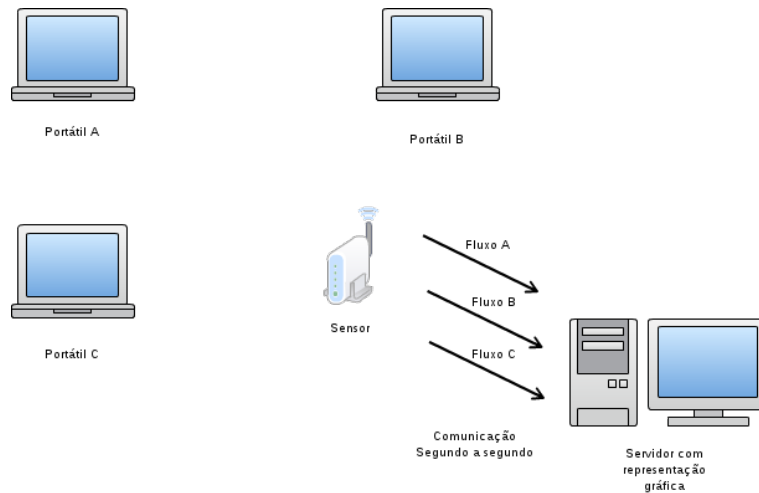


Figura 3.2: O sensor envia as medidas de todos os equipamentos para a aplicação servidora.

utilizando uma aplicação semelhante. A aplicação servidor efetua os cálculos de acordo com os algoritmos presentes e representa ainda num gráfico a duas dimensões, em tempo real, a posição calculada pelo algoritmo com base nos dados recebidos dos sensores. Esta informação é representada recorrendo à "ferramenta" *gnuplot* [33], permitindo uma visualização mais intuitiva da posição do cliente. Embora a aplicação guarde os dados relativos a todos os clientes detetados pelos sensores, apenas é representada em tempo real a posição de um cliente, sendo esta escolha passível de ser alterada em tempo real. Já numa representação posterior, a escolha do cliente a representar deve ser indicada de início especificando o seu *MAC address*.

A aplicação sensorial foi desenvolvida aproveitando uma aplicação já existente, conhecida como *airodump-ng*, que faz parte da suite *Aircrack-ng* [34].

Para a execução da aplicação *airodump-ng* é necessário que a placa de rede sem fios suporte o modo monitor, por vezes este modo não está acessível com as *drivers* instaladas por defeito e é necessário a troca destas por umas específicas que suportem este modo. A alteração da placa de rede sem fios para o modo monitor pode ser conseguida manualmente recorrendo a comandos próprios do sistema operativo ou usando a aplicação *airmon-ng* da mesma suite.

O código da aplicação *airodump-ng* foi ligeiramente alterado para possibilitar o envio dos dados recolhidos em tempo real para a aplicação servidora. Inicialmente apenas deixava de detetar e enviar medições para o servidor 2 min após ter deixado de escutar pacotes a circular no meio provenientes de um determinado equipamento. E assim que um pacote voltasse a ser detetado, a transmissão da sua medida prolongar-se-ia por mais 2 min: isto não provocava nenhuma anomalia enquanto o equipamento estivesse constantemente a transmitir, mas no caso em que apenas fossem transmitidos pacotes a cada 1 ou 1.5 min a aplicação estaria continuamente a reportar ao servidor que determinado equipamento estava constantemente a enviar pacotes, o que não era de todo verdade, calculando assim uma posição aproximada provavelmente errada (no caso do equipamento estar a transmitir fora do raio de alcance dos sensores), defraudando os resultados da aplicação de localização nestas situações. De modo a resolver este comportamento, a aplicação sensorial foi alterada para deixar de reportar medições de determinado equipamento 2 s após deixar de ser detetado o envio de pacotes do mesmo, tornando assim possível garantir um funcionamento mais correto da aplicação e

poupar recursos que de outra forma estariam a ser desperdiçados, tal como largura de banda, processamento, etc.

Analogamente, do lado da aplicação servidora foi também implementada uma forma de controlar o *buffer* de modo a que este seja esvaziado/resetado quando a aplicação sensorial deixar de lhe enviar as medidas referentes a um determinado equipamento; este "apagamento/refrescamento" do *buffer* não é instantâneo, apenas é efetuado quando não é recebida nenhuma mensagem com uma medição proveniente daquele equipamento durante 500 mensagens consecutivas, o que numa utilização normal corresponde a 2-3 s.

No que respeita à comunicação entre a aplicação cliente e servidora a opção foi a utilização de *sockets UDP (User Datagram Protocol)*: a quantidade e o tamanho dos dados/pacotes a transferir é mínima quando comparada com a capacidade da rede, e como se trata de uma aplicação em tempo real não foi dada importância à retransmissão dos pacotes perdidos devido à sua insignificância.

As mensagens enviadas da aplicação sensorial para a aplicação servidora são constituídas por 4 campos, o *MAC address* que identifica o equipamento a localizar, a identificação do sensor que escutou a sua "posição", a data e hora em que foi escutada (data e hora local do sensor) e a potência do sinal escutado, de acordo com o seguinte formato: "88:53:2E:AF:60:BD, A, 2012-09-05 16:04:24, -77,". Como se pode observar, cada mensagem é codificada em caracteres ASCII e contém 47 caracteres, cada um codificado num byte (8 bits), o que perfaz um total de 47 bytes por mensagem, sem incluir o cabeçalho *UDP*. Recorrendo ao *wireshark* [35] é possível observar que cada pacote *UDP* em que a mensagem é transmitida tem 90 bytes de comprimento.

Com os testes efetuados para 10 mil pacotes cada, provenientes de 2 clientes, notam-se perdas significativas. No entanto, durante a utilização da aplicação é esperada por cada cliente uma média de 100 pps (pacotes por segundo), o que constitui uma quantidade bastante reduzida, pelo que a probabilidade de acontecer perda de pacotes é ínfima. Verifica-se também que com apenas um cliente a enviar 10 mil pacotes existe mesmo uma perda de pacotes algo significativa, o que clarifica o relacionamento desta com a transmissão de um elevado número de pacotes, ao invés da quantidade de clientes.

Já para 100 pacotes enviados por apenas um ou 2 clientes, regista-se uma perda de 0 pacotes. Para 3 clientes, a perda de pacotes é uma situação bastante rara mas possível de acontecer quando a diferença entre o instante de comunicação dos clientes se situa na ordem das milésimas de segundo (10^{-3} s). Isto demonstra que para a comunicação de dados necessária é mais que suficiente.

Os testes foram efetuados sobre uma rede cablada com uma largura de banda de 100 Mbps.

Nas situações em que é desejada uma observação posterior da posição de uma máquina, existe uma aplicação semelhante à aplicação servidora em que a única diferença consiste no método de obtenção dos dados: em vez de ser através da rede, é efectuada a leitura do ficheiro anteriormente gerado.

Para simplificar o tratamento dos dados, foram criados vários *scripts* em *python* [36] com o intuito principal de gerar uma representação gráfica e facilitar a interpretação dos valores expondo-os de forma mais perceptível.

3.6 Funcionamento da aplicação (algoritmo)

A aplicação em si consiste em duas partes, a parte relacionada com o sensor (aplicação cliente) e a parte relacionada com o cálculo e representação da informação (aplicação servidora). Existem duas possibilidades, representar os dados em tempo real ou não.

Para o sistema em questão o cálculo da posição baseia-se nos conceitos de trilateração, distância euclidiana e intersecção de 2 círculos/circunferências. Por forma a obter os pontos de intersecção das circunferências foram usadas as seguintes equações:

$$\begin{aligned}(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 &= r_1^2 \\ (x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 &= r_2^2\end{aligned}\tag{3.1}$$

As equações 3.1 referem-se às equações de duas circunferências.

$$\begin{aligned}x &= \frac{x_2 + x_1}{2} + \frac{(x_2 - x_1)(r_1^2 - r_2^2)}{2d^2} \pm \frac{y_2 - y_1}{2d^2} \sqrt{((r_1 + r_2)^2 - d^2)(d^2 - (r_1 - r_2)^2)} \\ y &= \frac{y_2 + y_1}{2} + \frac{(y_2 - y_1)(r_1^2 - r_2^2)}{2d^2} \mp \frac{x_2 - x_1}{2d^2} \sqrt{((r_1 + r_2)^2 - d^2)(d^2 - (r_1 - r_2)^2)}\end{aligned}\tag{3.2}$$

As equações 3.2 referem-se às equações dos pontos de intersecção de duas circunferências [37].

$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}\tag{3.3}$$

A equação 3.3 refere-se à distância entre as duas circunferências.

As duas primeiras equações (3.1), são as equações que definem as circunferências, enquanto as duas equações seguintes definem as coordenadas (x_1, x_2) e (y_1, y_2) respetivamente, referindo-se a última equação à distância entre os pontos centrais das circunferências. Os pontos de intersecção gerados por estas equações são compostos pelas coordenadas $p_1 = (x_1, y_1)$ e $p_2 = (x_2, y_2)$.

Neste exemplo apenas são calculados os pontos de intersecção de duas circunferências. Extrapolando o processo para 3 circunferências, é necessário calcular os pontos de intersecção das 3 circunferências duas a duas, originando 3 conjuntos de circunferências distintos, pelo que é necessário proceder aos cálculos das referidas equações para os 3 conjuntos.

Estas são as equações que se podem observar no diagrama do algoritmo da aplicação.

Os pontos(coordenadas) onde estão colocados os sensores são conhecidos e têm que ser indicados à aplicação. Com o conhecimento destes é possível, convertendo os valores da potência de sinal em distância, calcular os pontos de intersecção das circunferências, estimando assim a posição em que o cliente se encontra. As equações para a obtenção dos pontos de intersecção das circunferências são aplicadas aos 3 pontos (localização dos 3 sensores) 2 a 2, pelo que podem ser obtidos até 6 pontos, que necessitam de ser tratados.

O método para a obtenção dos pontos extremos interiores que definem os contornos da área mais provável onde a máquina se encontra são obtidos da seguinte forma: são comparados

os 2 pontos resultantes da intersecção de duas circunferências e é escolhido o ponto (da intersecção) cuja distância ao centro da 3ª circunferência (que para o cálculo dos 2 pontos não foi considerada) é menor. Este processo é repetido para as 3 combinações possíveis das 3 circunferências existentes, duas a duas. O resultado mais comum deste processo são 6 pontos, após a seleção de acordo com o método referido anteriormente, são filtrados os 3 mais prováveis que delimitam um área de formato triangular, na qual o ponto central é considerado como a posição do equipamento. No caso em que existam duas circunferências que não se intersectem e só existam 4 pontos, é possível que seja representada graficamente uma linha entre os 2 pontos mais prováveis, visto que não existe um terceiro ponto para definir uma área.

Da forma como a aplicação está desenvolvida, com os 3 sensores, o algoritmo permite essencialmente fazer a estimativa da posição de um equipamento (móvel) no interior da área delimitada pelos 3 sensores. Posições na área exterior apenas devem ser consideradas se forem relativamente próximas da área interior, pois caso contrário será observado um efeito de espelho que indica a posição no interior da área, quando esta está na verdade muito afastada da mesma. Isto acontece porque no caso mais comum (no caso ideal, muito raro, apenas existe um ponto comum às duas circunferências) a intersecção de duas circunferências gera 2 pontos distintos, sendo escolhido o ponto mais próximo da origem da terceira circunferência, culminando assim na escolha do ponto situado no interior da área delimitada pelos sensores.

O entrave mais notório no desenvolvimento (para o bom funcionamento) da aplicação não se relaciona com o algoritmo, mas sim com a dificuldade de conversão entre os valores obtidos pela placa de rede sem fios e a distância a que estes correspondem. Em ambientes interiores, a elevada concentração de obstáculos provoca uma flutuação nos valores de $RSSI_i$, que aumenta com a movimentação dos obstáculos. Ao serem obtidos diferentes valores de $RSSI_i$ para a mesma posição, a posição inferida pela aplicação irá apresentar um erro em relação à posição real.

Os valores obtidos pelos sensores são transformados em distância pela aplicação servidora, recorrendo a uma tabela povoada com valores provenientes de medições executadas num ambiente interior. Cada valor é obtido através da média de 4 medições distintas de 200 amostras cada, por forma a evitar que valores pontuais adulterados possam inviabilizar a correspondência $RSSI_i$ -distância. Os valores medidos são valores discretos e intervalados, pelo que existe a necessidade de interpolar o valor dos pontos intermédios que não são medidos experimentalmente.

Usando a função "bezier" para interpolação e aproximação de dados da ferramenta de representação gráfica *gnuplot*, é obtida a correspondência entre os valores da potência do sinal e da distância medidos experimentalmente e interpolados.

Apesar de o *gnuplot* ser uma ferramenta de representação gráfica, permite guardar os dados representados de variadas formas, nomeadamente através de imagens ou registando os valores dos pontos representados graficamente (foi aliás esta a opção utilizada para obter a comparação dos valores discretos). Foi ainda efetuada uma ligeira aproximação, relacionada com a amostragem obtida, de forma a garantir valores inteiros da potência de sinal, que não são registados pela aplicação.

Com vista a minimizar as flutuações nas medições, é possível, recorrendo a *hardware* específico ou de elevada qualidade, aumentar a potência/sensibilidade, conseguindo assim maiores distâncias para o mesmo grau de variação ou menor variação nos valores obtidos para distâncias iguais. Outra solução é aumentar o número de sensores que cobrem a mesma área, sendo que a quantidade mínima de sensores necessários para ter uma posição 2D é de 3

sensores. Existe também um valor máximo para a quantidade de sensores que corresponde a uma melhoria de precisão na prática. Qualquer uma destas opções implica um investimento adicional.

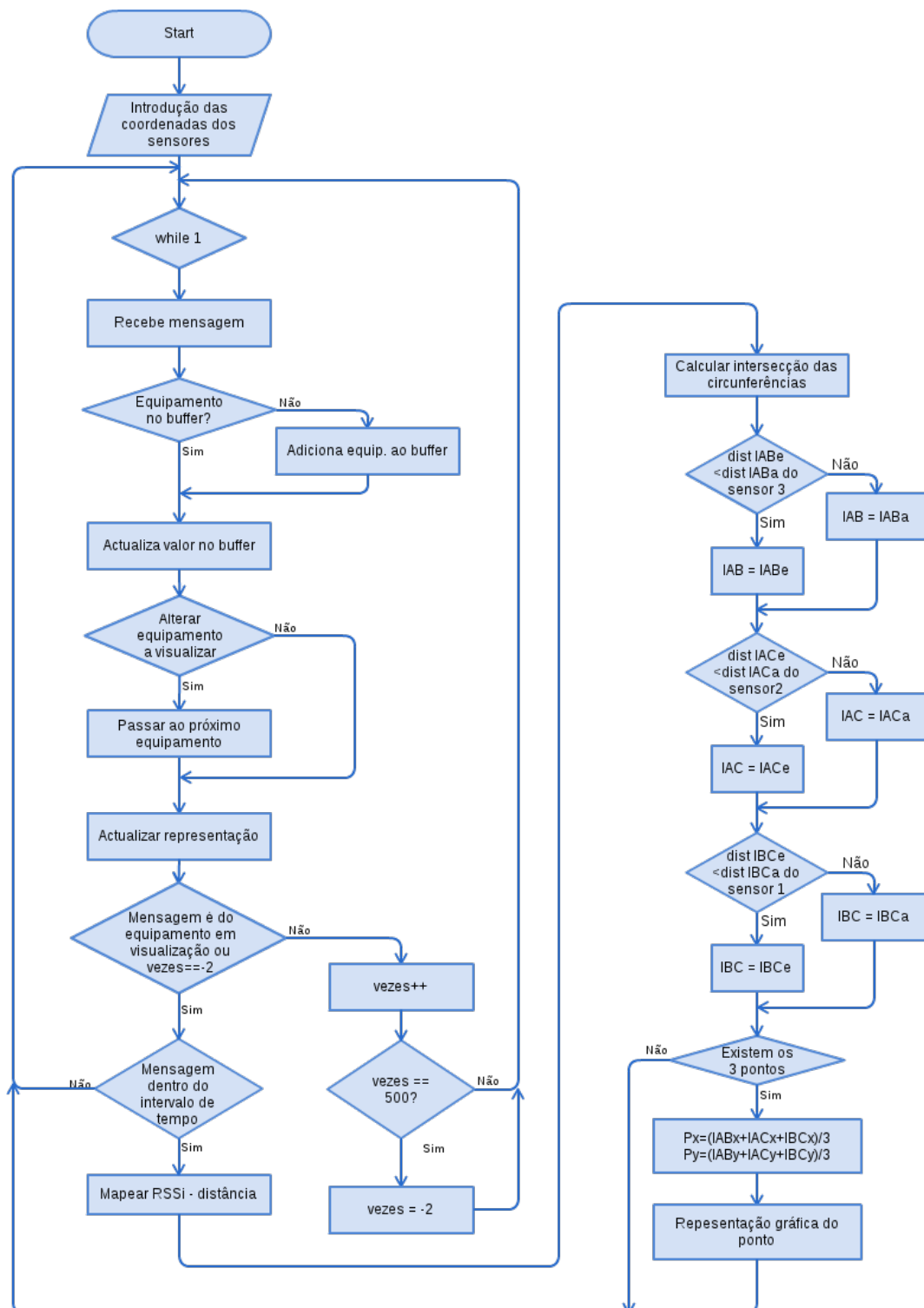


Figura 3.3: Algoritmo simplificado da aplicação.

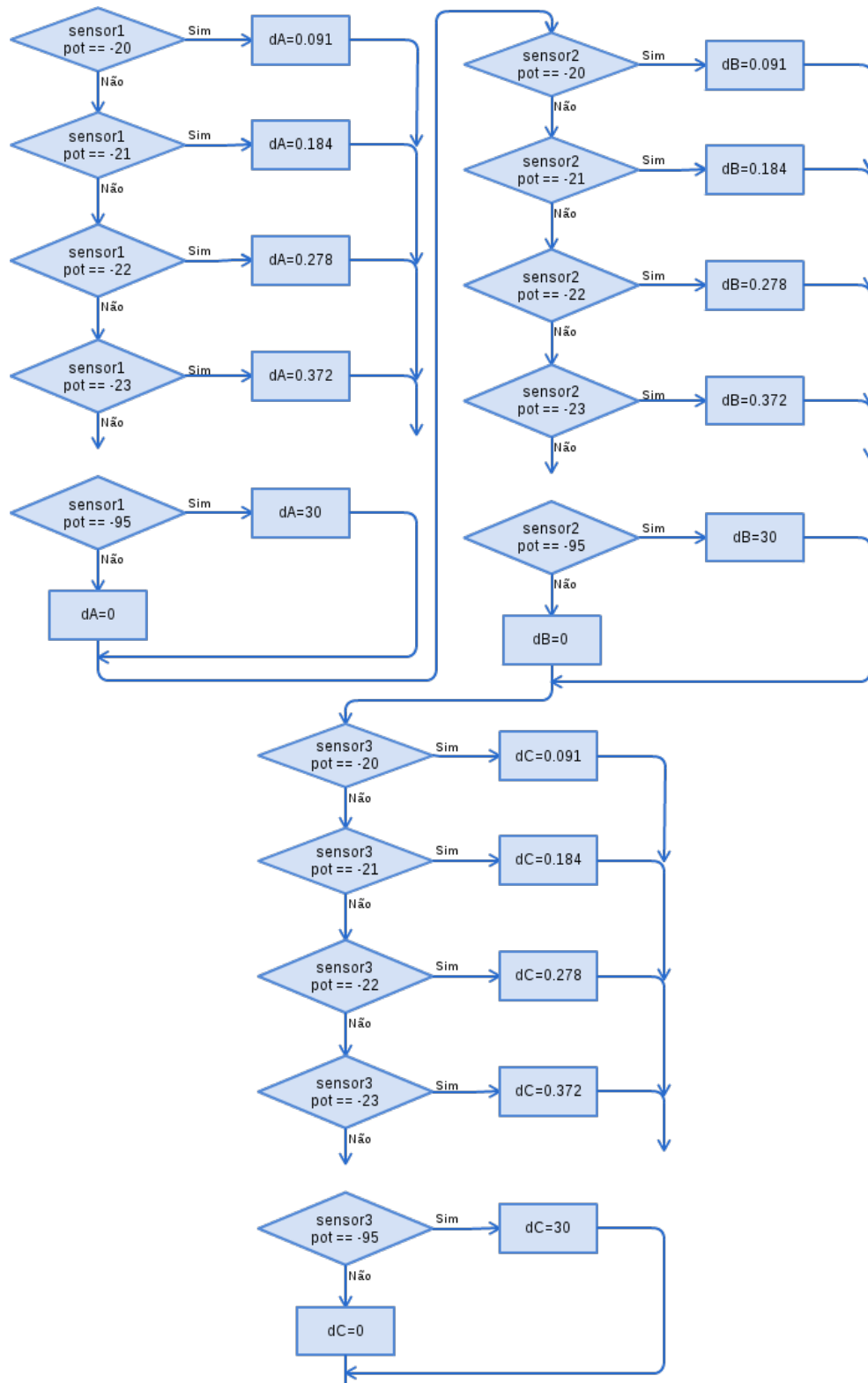


Figura 3.4: Mapeamento *RSSI* - distância.

$$\begin{aligned}
d &= \sqrt{(PSB.x - PSA.x)^2 + (PSB.y - PSA.y)^2} \\
IABa.x &= \frac{PSB.x + PSA.x}{2} + \frac{(PSB.x - PSA.x)(dA^2 - dB^2)}{2d^2} + \frac{PSB.y - PSA.y}{2d^2} \sqrt{((dA + dB)^2 - d^2)(d^2 - (dB - dA)^2)} \\
IABa.y &= \frac{PSB.y + PSA.y}{2} + \frac{(PSB.y - PSA.y)(dA^2 - dB^2)}{2d^2} - \frac{PSB.x - PSA.x}{2d^2} \sqrt{((dA + dB)^2 - d^2)(d^2 - (dB - dA)^2)} \\
IABe.x &= \frac{PSB.x + PSA.x}{2} + \frac{(PSB.x - PSA.x)(dA^2 - dB^2)}{2d^2} - \frac{PSB.y - PSA.y}{2d^2} \sqrt{((dA + dB)^2 - d^2)(d^2 - (dB - dA)^2)} \\
IABe.y &= \frac{PSB.y + PSA.y}{2} + \frac{(PSB.y - PSA.y)(dA^2 - dB^2)}{2d^2} + \frac{PSB.x - PSA.x}{2d^2} \sqrt{((dA + dB)^2 - d^2)(d^2 - (dB - dA)^2)} \\
\\
d &= \sqrt{(PSC.x - PSA.x)^2 + (PSC.y - PSA.y)^2} \\
IACa.x &= \frac{PSC.x + PSA.x}{2} + \frac{(PSC.x - PSA.x)(dA^2 - dC^2)}{2d^2} + \frac{PSC.y - PSA.y}{2d^2} \sqrt{((dA + dC)^2 - d^2)(d^2 - (dC - dA)^2)} \\
IACa.y &= \frac{PSC.y + PSA.y}{2} + \frac{(PSC.y - PSA.y)(dA^2 - dC^2)}{2d^2} - \frac{PSC.x - PSA.x}{2d^2} \sqrt{((dA + dC)^2 - d^2)(d^2 - (dC - dA)^2)} \\
IACe.x &= \frac{PSC.x + PSA.x}{2} + \frac{(PSC.x - PSA.x)(dA^2 - dC^2)}{2d^2} - \frac{PSC.y - PSA.y}{2d^2} \sqrt{((dA + dC)^2 - d^2)(d^2 - (dC - dA)^2)} \\
IACe.y &= \frac{PSC.y + PSA.y}{2} + \frac{(PSC.y - PSA.y)(dA^2 - dC^2)}{2d^2} + \frac{PSC.x - PSA.x}{2d^2} \sqrt{((dA + dC)^2 - d^2)(d^2 - (dC - dA)^2)} \\
\\
d &= \sqrt{(PSC.x - PSB.x)^2 + (PSC.y - PSB.y)^2} \\
IBCa.x &= \frac{PSC.x + PSB.x}{2} + \frac{(PSC.x - PSB.x)(dB^2 - dC^2)}{2d^2} + \frac{PSC.y - PSB.y}{2d^2} \sqrt{((dC + dB)^2 - d^2)(d^2 - (dC - dB)^2)} \\
IBCa.y &= \frac{PSC.y + PSB.y}{2} + \frac{(PSC.y - PSB.y)(dB^2 - dC^2)}{2d^2} - \frac{PSC.x - PSB.x}{2d^2} \sqrt{((dC + dB)^2 - d^2)(d^2 - (dC - dB)^2)} \\
IBCe.x &= \frac{PSC.x + PSB.x}{2} + \frac{(PSC.x - PSB.x)(dB^2 - dC^2)}{2d^2} - \frac{PSC.y - PSB.y}{2d^2} \sqrt{((dC + dB)^2 - d^2)(d^2 - (dC - dB)^2)} \\
IBCe.y &= \frac{PSC.y + PSB.y}{2} + \frac{(PSC.y - PSB.y)(dB^2 - dC^2)}{2d^2} + \frac{PSC.x - PSB.x}{2d^2} \sqrt{((dC + dB)^2 - d^2)(d^2 - (dC - dB)^2)}
\end{aligned}$$

Figura 3.5: Equações do cálculo dos pontos de interseção.

Capítulo 4

Configuração da aplicação

Devido ao uso da aplicação *airodump-ng*, era necessário proceder a alguns testes de modo a perceber quais as configurações mais indicadas para o desenvolvimento da aplicação. Foram criadas e testadas duas versões, que se distinguem pela forma como é feito o registo e posterior envio de valores: na versão 13 o registo e envio destes é efetuado em instantes temporais precisos e bem definidos, tendo como unidade mínima possível a décima de segundo; na versão 11 pode ocorrer uma variação mínima no instante de envio dos valores obtidos, tendo 1 s como unidade mínima. Seguidamente mostram-se os resultados obtidos e quais as melhores opções para a configuração dos parâmetros da aplicação, sendo enfatizada a versão 13 como a preferencial. A figura seguinte representa a legenda comum a todos os gráficos presentes neste capítulo.

Intervalo —+— RSSI - - - - -

Figura 4.1: Representação da legenda dos gráficos posteriores.

4.1 Versão 11

Com o registo de valores a 1 s (figura 4.4) observa-se na medição em todos os canais saltos temporais muito parecidos aos observados na medição com iguais características mas registados com 5 segundos de intervalo (figura 4.2). Os valores obtidos são na sua maioria valores repetidos, fruto dos intervalos com desvios bastante variáveis. Apenas no caso dos valores obtidos com 1 s de intervalo no mesmo canal (figura 4.5) se obtêm bons resultados, já que no registo de 5 em 5 segundos (figura 4.3) se observa um comportamento inesperado: obtém-se na mesma um intervalo de 1 s entre registos quando o intervalo esperado seria de 5 s.

Os valores mais satisfatórios para este caso foram obtidos escutando apenas um canal com o registo efetuado segundo a segundo (figura 4.5).

Analisando os resultados obtidos com o tempo de escuta por canal a 250 ms e o registo efetuado a cada 5 s, verificamos que estes intervalos sofrem alguns desvios com uma variação considerável em relação ao tempo indicado quando a pesquisa ocorre em todos os canais (figura 4.6). Por outro lado, quando a pesquisa acontece apenas num canal os intervalos apresentam

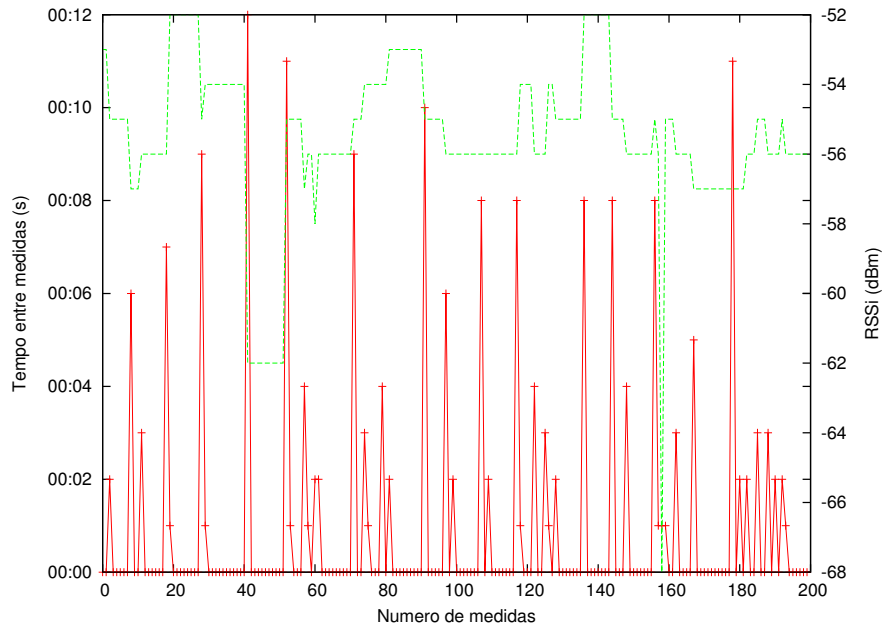


Figura 4.2: 5 s entre registo, 100 ms por canal, todos os canais, versão 11.

poucas oscilações e bastante reduzidas, obtendo-se também bons valores para uma utilização posterior (figura 4.7).

Nos resultados obtidos com o tempo de escuta por canal a 250 ms e 1 s entre registo de valores, obtêm-se intervalos de leitura satisfatórios no caso em que se escuta o mesmo canal (figura 4.9) e valores com pequena oscilação, já no caso em que se escutam todos os canais (figura 4.8) se obtêm intervalos de tempo irregulares produzindo uma quantidade significativa de valores repetidos devido ao tempo consumido para percorrer todos os canais.

Para o tempo de escuta por canal de 250 ms nos vários canais, a melhor opção seria utilizar o registo de valores de 5 em 5 s (figura 4.6) ao invés de 1 em 1 s (figura 4.8), por causa dos valores repetidos que este apresenta, fruto do tempo requerido para percorrer todos os canais. Enquanto para o mesmo canal se poderia optar por qualquer um dos registos (com intervalos de 5 s ou de 1 s), preferencialmente deverá ser utilizado o intervalo de 1 segundo por permitir mais valores por unidade de tempo.

Resumindo, para esta versão da aplicação sensorial seriam escolhidas como preferenciais as opções 250 ms no caso do registo de valores se efectuar a cada 5 s, tanto para um canal (figura 4.7) como para vários (figura 4.6). No caso do registo se efectuar a cada segundo, apenas alteraria a opção anterior no caso de se optar por escutar todos os canais, em que aí seria benéfico reduzir o tempo de escuta em cada canal para os 100 ms (figura 4.4), ainda que não produza resultados tão bons quanto os anteriores.

Todas estas medições foram efetuadas com o dispositivo sempre na mesma posição e à mesma distância do sensor, pelo que em movimento é preferível uma maior frequência de medidas, que se traduz numa aproximação mais verdadeira da posição real, acabando assim por optar pela opção de 250 ms de tempo de escuta em cada canal e 1 s entre cada intervalo de registo, num só canal (figura 4.9).

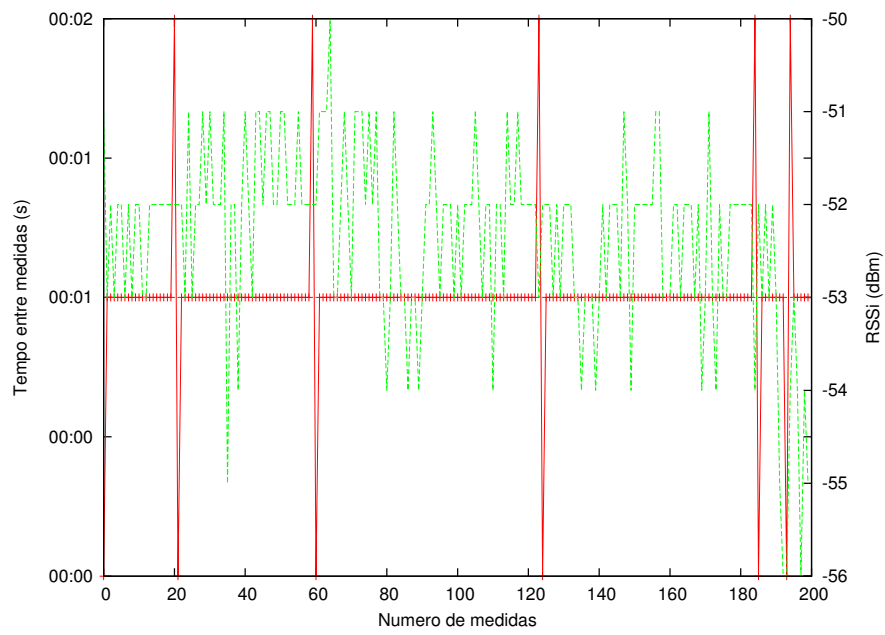


Figura 4.3: 5 s entre registro, 100 ms por canal, um canal, versão 11.

4.2 Versão 13

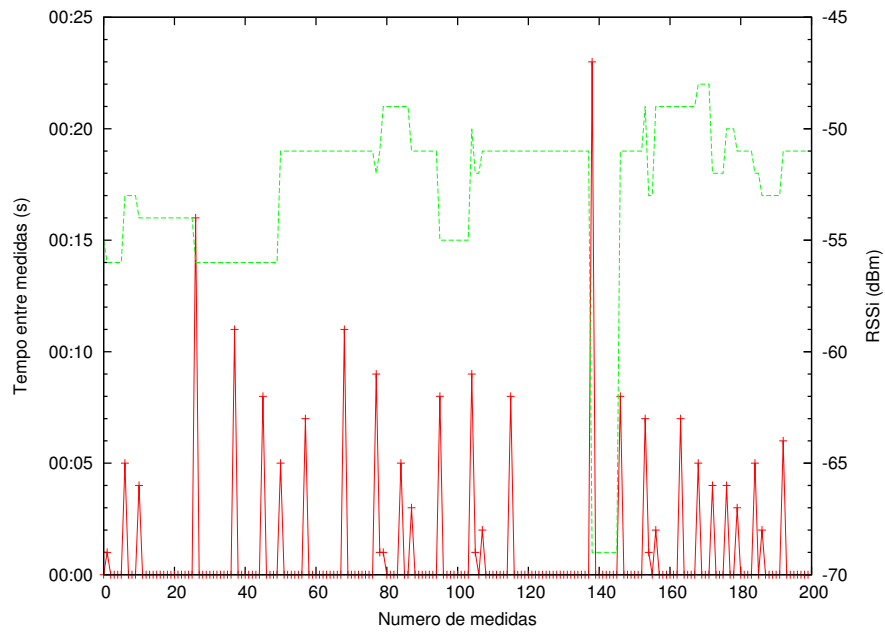


Figura 4.4: 1 s entre registro, 100 ms por canal, todos os canais, versão 11.

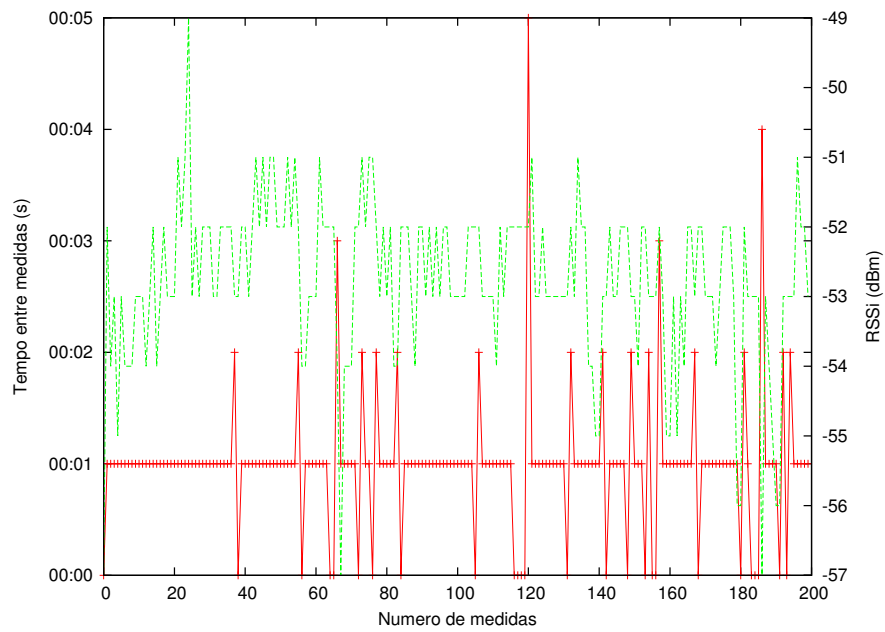


Figura 4.5: 1 s entre registro, 100 ms por canal, um canal, versão 11.

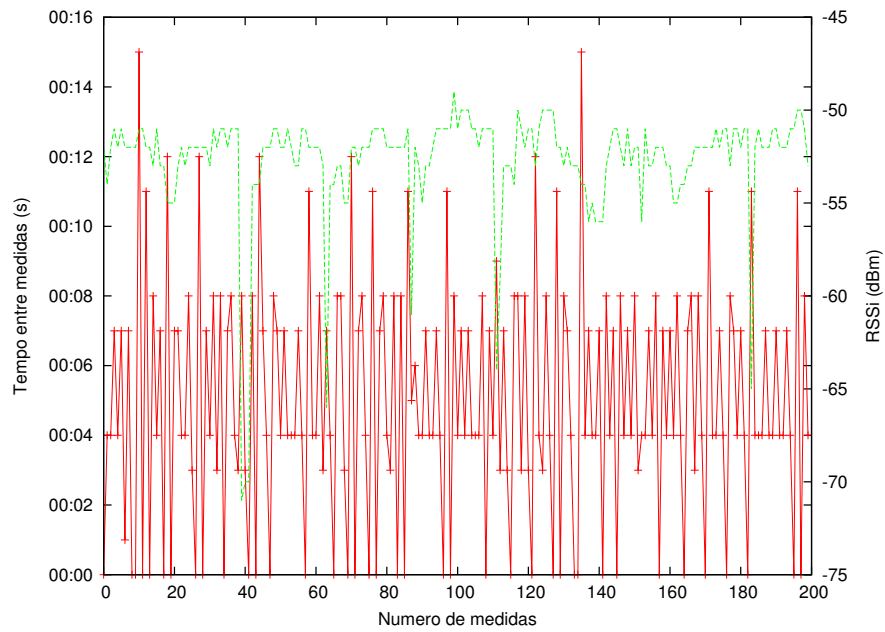


Figura 4.6: 5 s entre registo, 250 ms por canal, todos os canais, versão 11.

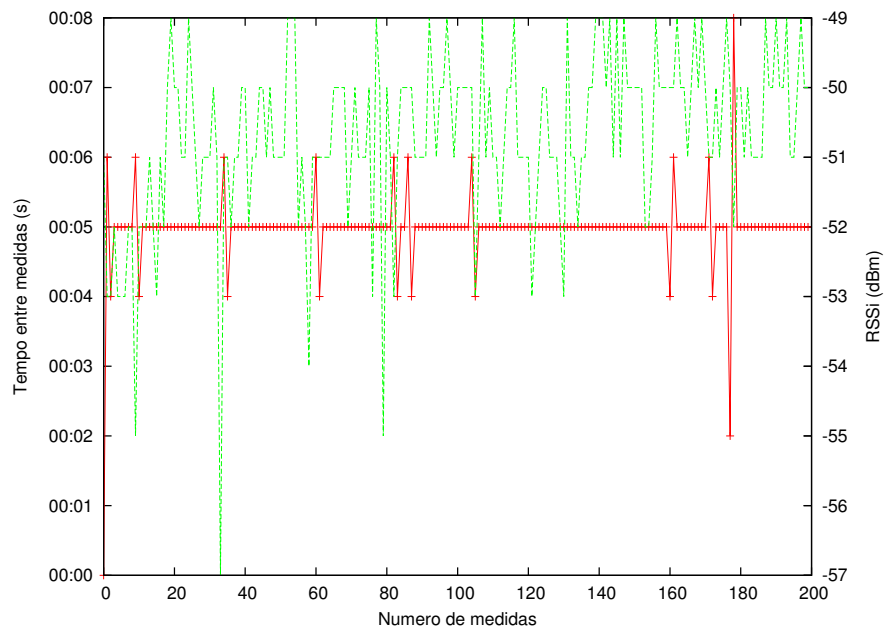


Figura 4.7: 5 s entre registo, 250 ms por canal, um canal, versão 11.

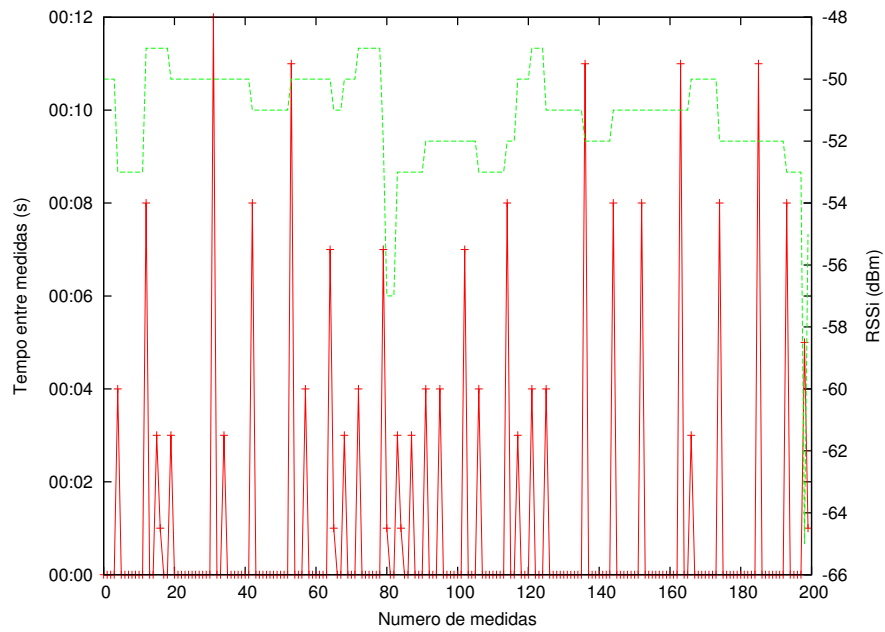


Figura 4.8: 1 s entre registro, 250 ms por canal, todos os canais, versão 11.

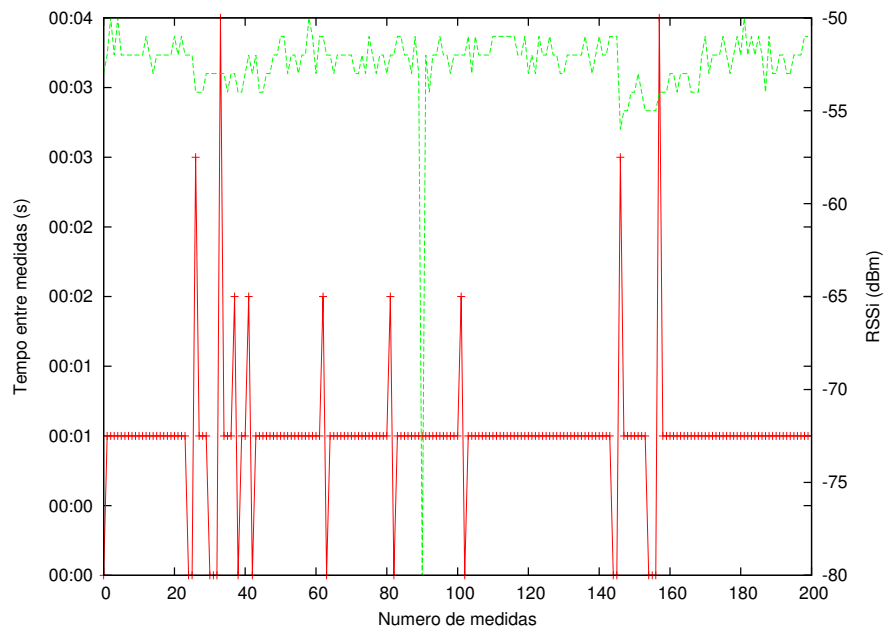


Figura 4.9: 1 s entre registro, 250 ms por canal, um canal, versão 11.

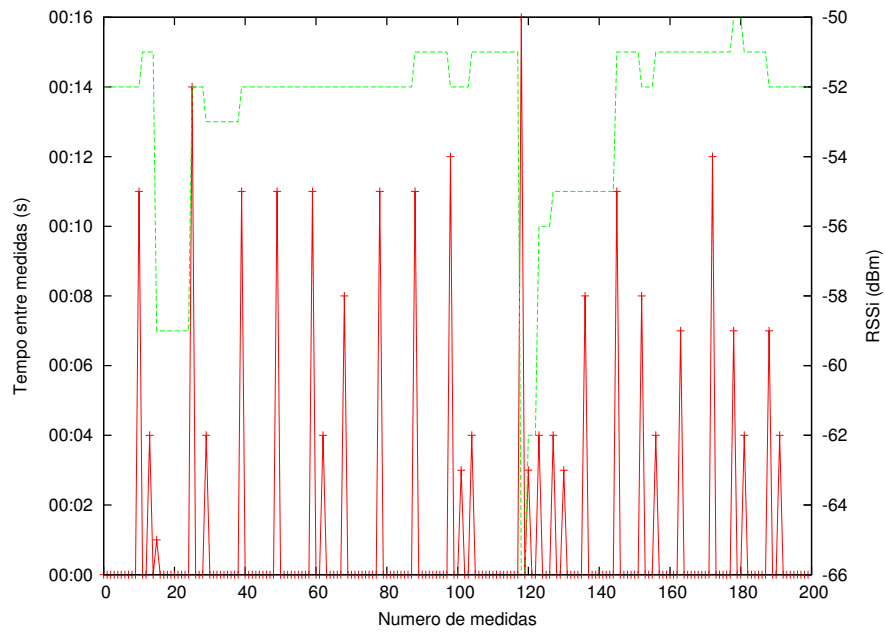


Figura 4.10: 1 s entre registro, 250 ms por canal, todos os canais, versão 13.

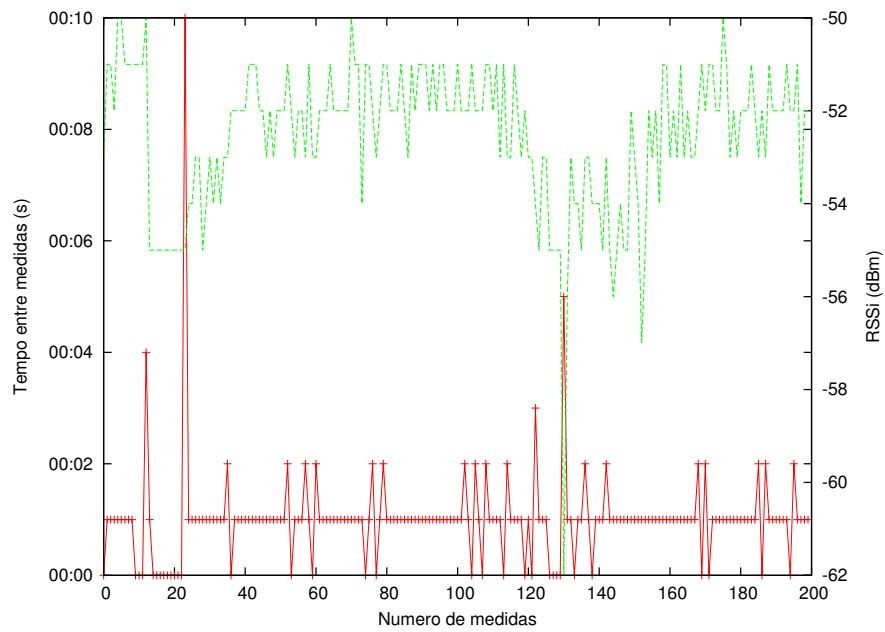


Figura 4.11: 1 s entre registro, 250 ms por canal, um canal, versão 13.

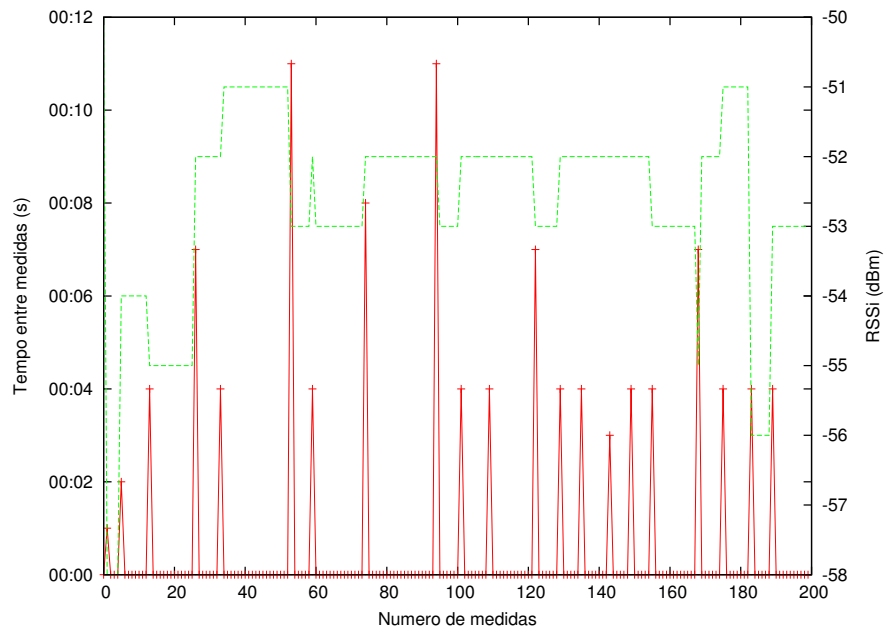


Figura 4.12: 0.5 s entre registro, 250 ms por canal, todos os canais, versão 13.

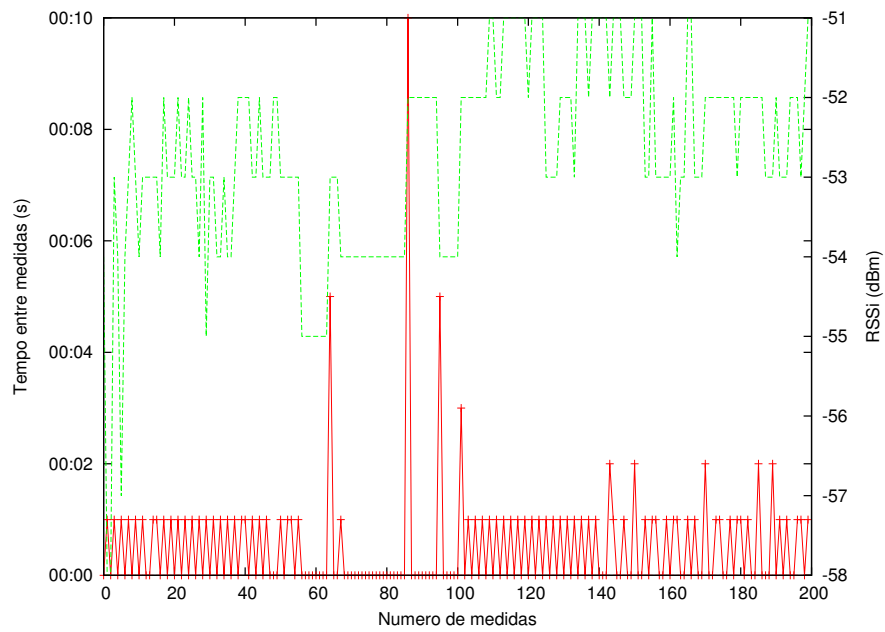


Figura 4.13: 0.5 s entre registro, 250 ms por canal, um canal, versão 13.

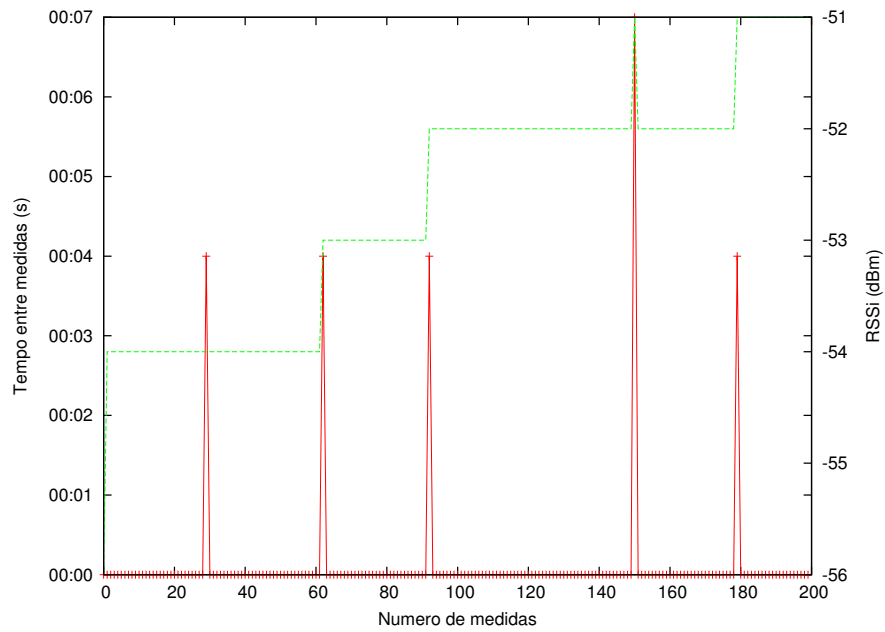


Figura 4.14: 0.1 s entre registro, 250 ms por canal, todos os canais, versão 13.

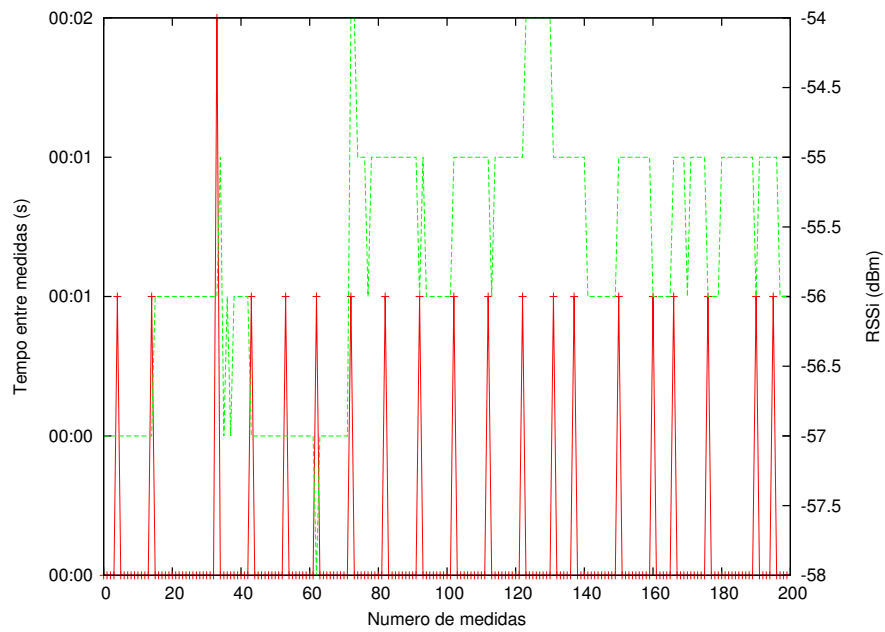


Figura 4.15: 0.1 s entre registro, 250 ms por canal, um canal, versão 13.

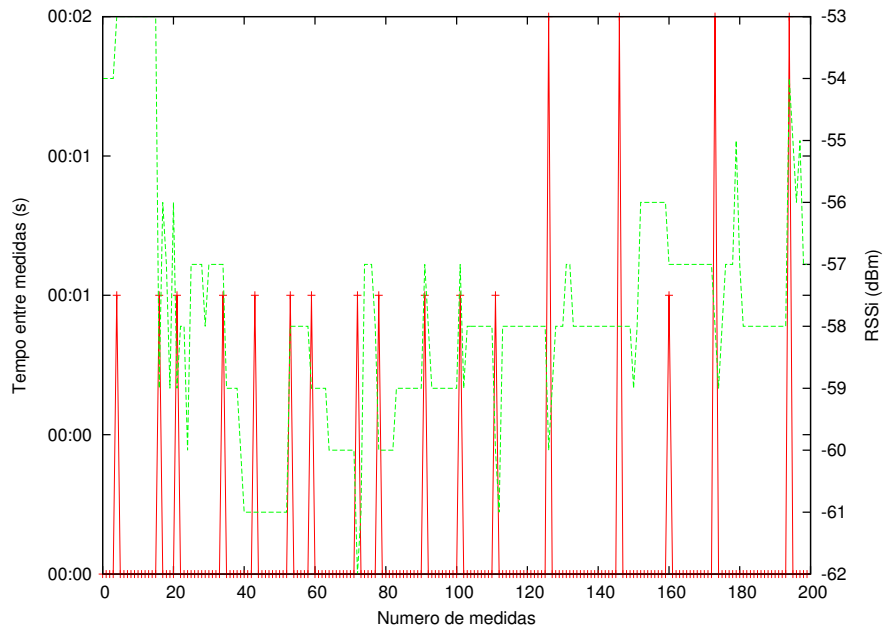


Figura 4.16: 0.1 s entre registo, 250 ms por canal, um canal, versão 13, com obstáculos em movimento.

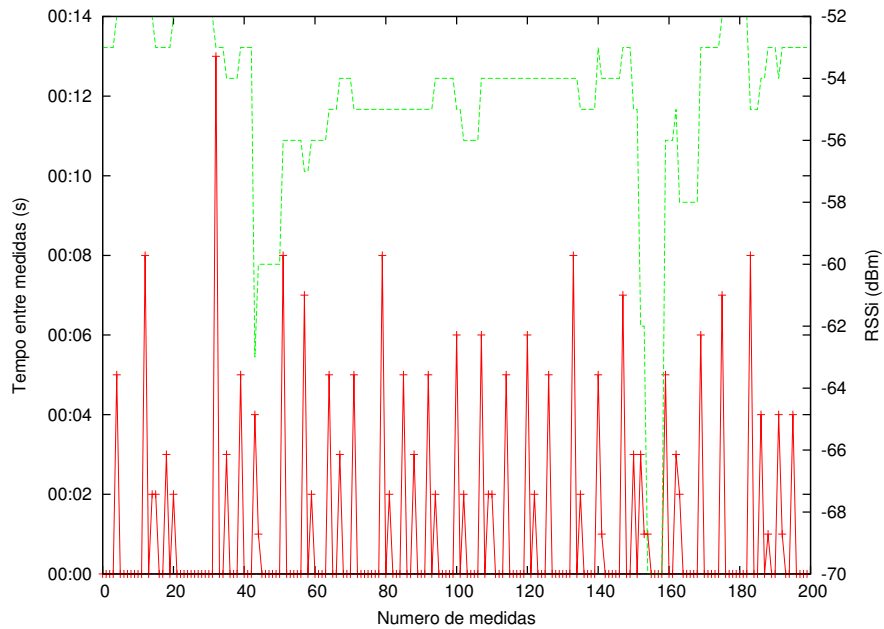


Figura 4.17: 1 s entre registo, 100 ms por canal, todos os canais, versão 13.

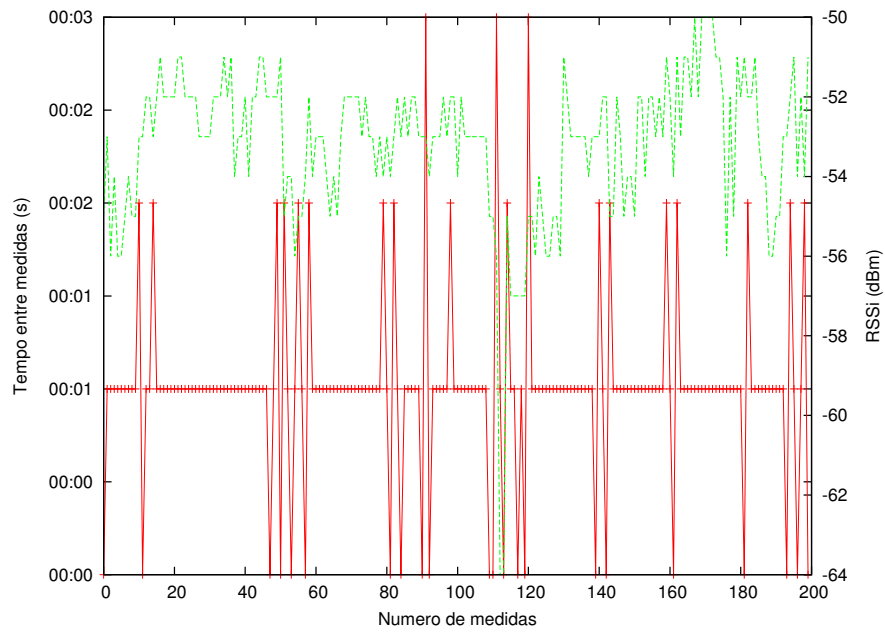


Figura 4.18: 1 s entre registro, 100 ms por canal, um canal, versão 13.

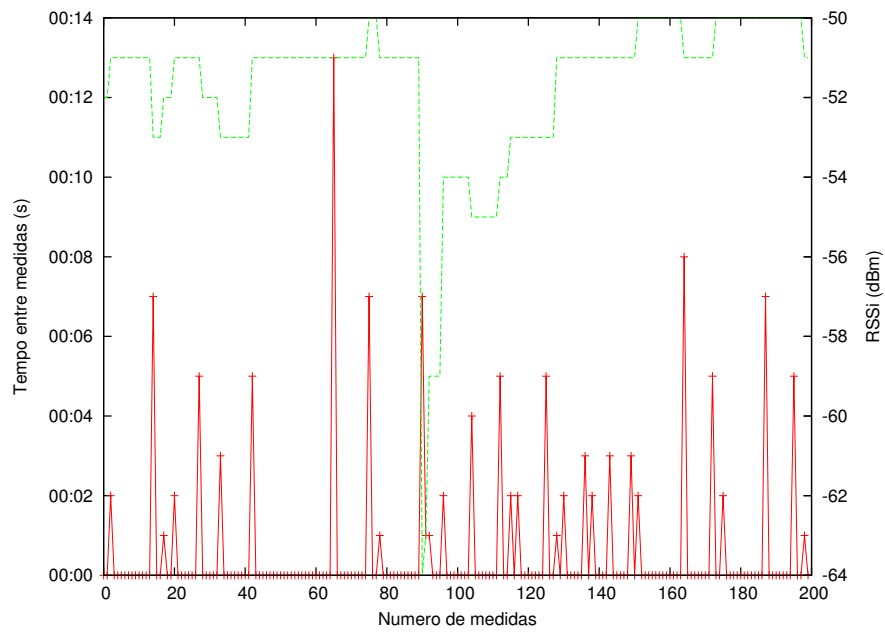


Figura 4.19: 0.5 s entre registro, 100 ms por canal, todos os canais, versão 13.

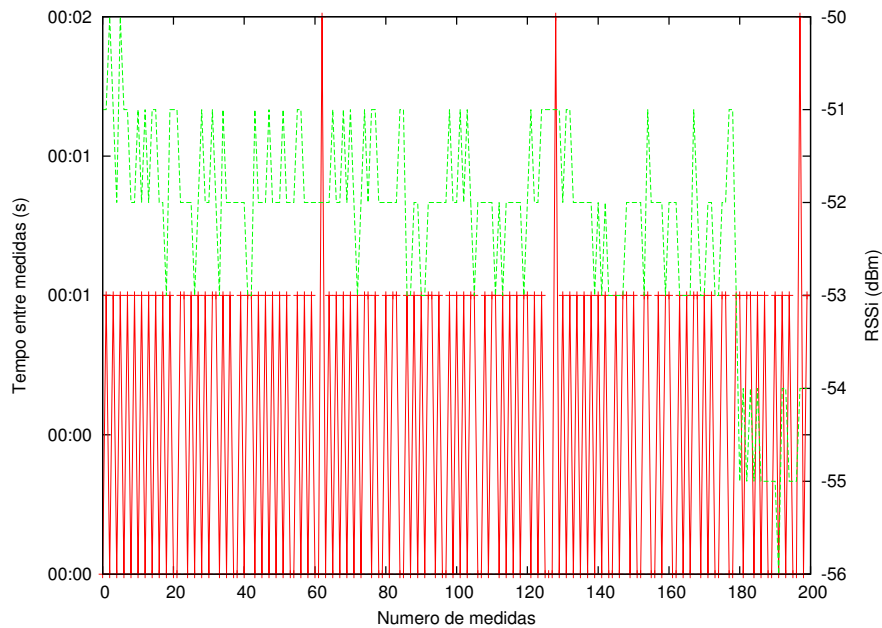


Figura 4.20: 0.5 s entre registro, 100 ms por canal, um canal, versão 13.

Considerando um tempo de escuta de 250 ms em todos os canais:

Com o tempo de escuta por canal fixo em 250 ms, escutando todos os canais, com as medições efetuadas de segundo a segundo (figura 4.10) observa-se que os intervalos são demasiado curtos para o tempo que demora a serem pesquisados, provocando uma quantidade de valores repetidos bastante elevada e observando-se saltos muito consideráveis destes intervalos. No caso das medições com 0.5 s e 0.1 s de intervalo (figuras 4.12 e 4.14) estes fatores são ainda mais acentuados, pelo que nenhuma destas configurações seria uma opção para o funcionamento da aplicação, concluindo-se neste caso que o tempo de escuta de cada canal está bastante acima do desejado.

Considerando um tempo de escuta de 100 ms, apenas num canal:

Neste caso, para 1 s de intervalo entre registro (figura 4.18) verificam-se algumas oscilações no intervalo, mas nada de significativo (variação de 1 s); quanto aos valores, nesta medição específica obteve-se uma variação algo elevada mas que pode ser justificada pela existência de movimento no espaço onde foram efetuadas as medições. Nos 0.5 s de intervalo (figura 4.20) a situação muda, pois apesar dos intervalos se manterem com oscilações pouco significativas os valores obtidos já se encontram mais estáveis, com uma variação bastante aceitável. Abaixo dos 0.5, nomeadamente nos intervalos com aproximadamente 0.1 s de intervalo (figuras 4.22 e 4.22) já existe muita repetição nos valores observados, o que significa que estamos perante um intervalo demasiado pequeno para uma utilização eficiente da aplicação.

Opções aceitáveis neste caso são então: 1 s e 0.5 s, um canal, com 100 ms de tempo de escuta por canal (figuras 4.18 e 4.20, respetivamente).

Considerando um tempo de escuta de 100 ms por canal em todos os canais:

A 100 ms de tempo de escuta por canal, escutando todos os canais, a única opção que faz sentido considerar é o registro de 1 em 1s, pois é o que se aproxima mais do tempo necessário para a pesquisa de todos os canais. Mesmo assim, os intervalos têm uma oscilação considerável, acima do que seria desejável, pelo que uma opção possível seria reduzir ainda mais o tempo

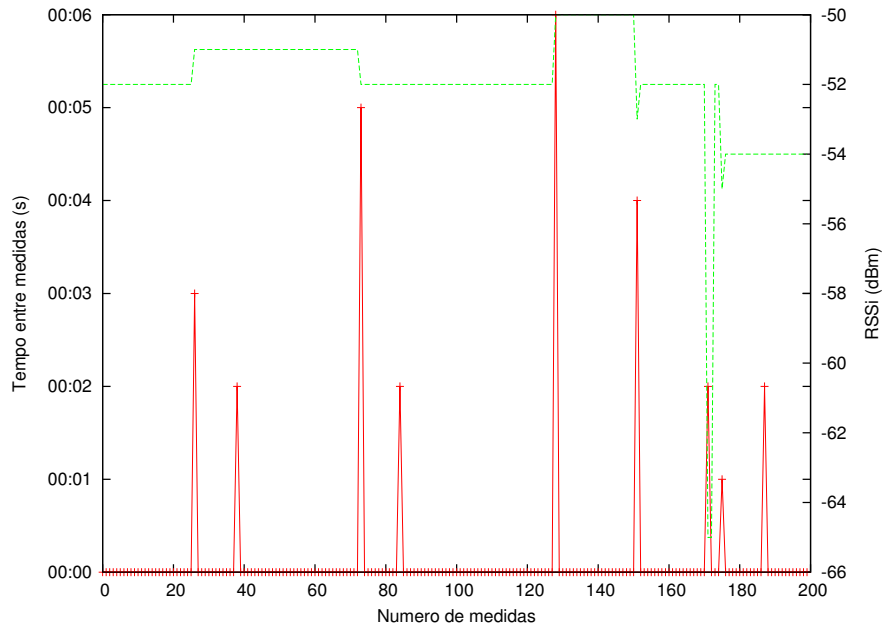


Figura 4.21: 0.1 s entre registro, 100 ms por canal, todos os canais, versão 13.

de escuta de cada canal, tendo em conta as limitações impostas pelo *hardware*, e sem esquecer que a redução exagerada deste tempo diminui também a possibilidade de detecção de algumas máquinas de acordo com o estado das mesmas.

Neste caso, não se considera nenhuma opção aceitável, sendo a mais próxima do aceitável a opção ilustrada na figura 4.17, ainda assim longe do mínimo necessário.

Considerando um tempo de escuta de 250 ms, apenas 1 canal:

A 250 ms escutando apenas 1 canal verifica-se que o registo de valores de 1 em 1 segundo (figura 4.11) é aceitável, sendo possível também optar pelo registo a cada 0.5 s (figura 4.13) se pretendermos mais rigor, notando-se uma diferença não muito significativa. Abaixo dos 0.5 s, nomeadamente 0.1 s (figuras 4.15 e 4.16), verifica-se pela observação dos gráficos que se obtém uma diferença irrisória que na prática não seria representável, elevando apenas a quantidade de recursos consumidos pela aplicação. A variação dos valores pode ser justificada com o movimento de objetos no espaço de medição.

Opções aceitáveis neste caso: 1 s e 0.5 s, um canal, com 250 ms de tempo de escuta por canal (figuras 4.11 e 4.13, respectivamente).

No que respeita à configuração final, através da observação dos gráficos anteriores conclui-se que a indicação mais precisa consiste em usar apenas um canal. No caso de registos com 1 s de intervalo os gráficos são muito idênticos, pelo que o critério de desempate serão os picos do intervalo, que são mais reduzidos no caso de 100 ms. Para 0.5 s de intervalo, apesar de idênticos os gráficos indicam que o valor de 100 ms entre canal é preferível ao de 250 ms também pela mesma razão do caso anterior. Assim, a configuração final escolhida será pesquisar apenas um canal, com tempo de escuta 100 ms: em relação ao registo de valores, fica a possibilidade de escolha entre registar valores a cada 0.5s ou 1s, consoante as limitações impostas (figuras 4.18 e 4.20, respetivamente).

Todas as medições efetuadas, recorrendo às aplicações desenvolvidas, foram realizadas sempre pelos mesmos equipamentos (um portátil e uma *mini atx*) para evitar diferenças

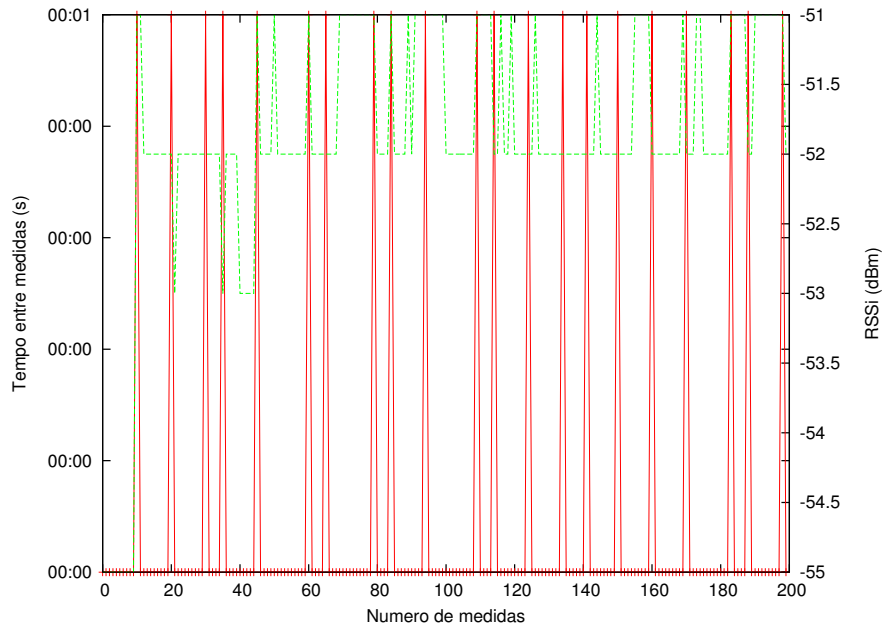


Figura 4.22: 0.1 s entre registo, 100 ms por canal, um canal, versão 13.

nos valores obtidos causadas pela utilização de diferentes *hardware*. Estas mesmas medições foram também efetuadas todas no mesmo ponto, à mesma altura do chão (1.2 m) numa sala mobilada, o que introduz um fator de aleatoriedade nos valores obtidos dependendo do espaço onde é efetuada a medição. Apesar deste fator introduzir um efeito negativo, os valores obtidos nos testes efetuados podem ser reutilizados tendo em vista a generalização da localização para qualquer ambiente interior, sem haver a necessidade de efetuar medições adicionais para configurar/afinar a aplicação desenvolvida.

No que respeita aos valores obtidos, nomeadamente à diferença de tempos entre cada medida observada, existe uma relação direta com o estado em que a máquina se encontra (se a placa de rede sem fios está ativa e em comunicação com a rede). Se o utilizador não estiver a executar uma tarefa que necessite de aceder á rede, a comunicação entre a máquina e a rede vai ser esporádica, tipicamente com acessos espaçados de algumas dezenas de segundos. Esta característica tem um impacto negativo no funcionamento da aplicação, no caso em que a máquina se esteja a deslocar sem comunicar com a rede, pois as suas posições intermédias não serão visíveis nem registadas, apenas serão as posições onde esta comunica com a rede, o que pode dar origem à representação de duas posições consecutivas (temporais) espacialmente separadas.

As medições efetuadas neste capítulo pressupõem o mesmo estado do equipamento, a comunicação constante com a rede resultado da escuta de rádio via *web browser*.

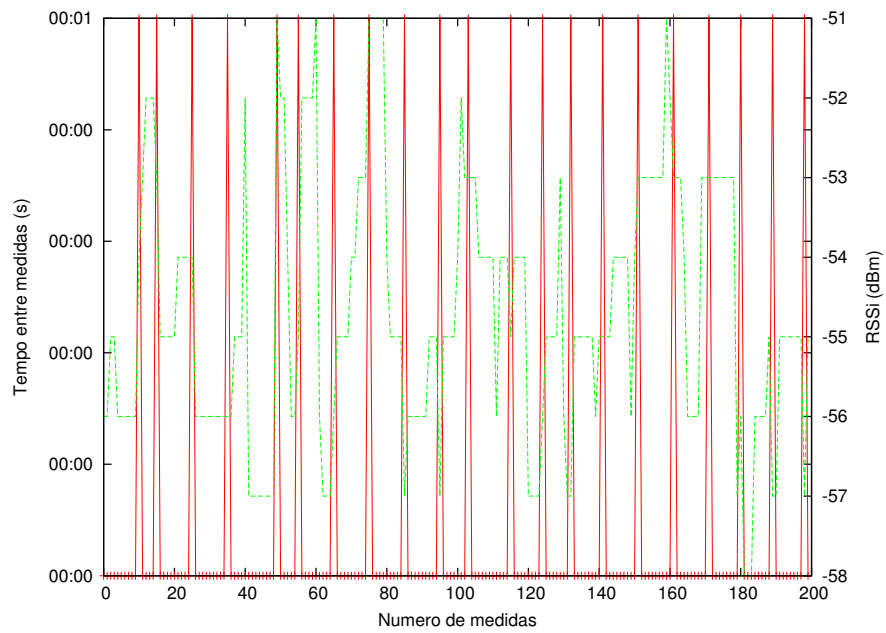


Figura 4.23: 0.1 s entre registo, 100 ms por canal, um canal, versão 13, com obstáculos em movimento.

Capítulo 5

Resultados

5.1 Planta do piso onde decorrem as medições



Figura 5.1: Planta do piso de testes do sistema.

A imagem da figura 5.1 mostra a área onde foram conduzidos os testes, com a identificação dos pontos representativos da posição dos 3 sensores nas várias tentativas (A, B e C) realizadas

a fim de obter o funcionamento correto da aplicação.

5.2 Estados do equipamento

Com vista a comparar os efeitos provocados na aplicação pelos diferentes tipos de utilização que o equipamento pode ter, foram testados alguns casos, tais como: "inativo", a ouvir música (*webradio*), a aceder a páginas *web* a cada 2 segundos e a cada 5 s.

Foi utilizado um *script* para simular o acesso por parte do utilizador comum a diversas páginas *web* com intervalos de 2 s e 5 s. O *script* foi desenvolvido no sentido de, a partir de uma página inicial (*link*), pesquisar (abrir) outras páginas (*links*) nele contidas e assim sucessivamente. Existe um tempo de espera configurável entre a abertura de páginas sucessivas, permitindo assim uma simulação mais aproximada da realidade. Através da execução do *script* com diferentes valores para esse intervalo de tempo, é possível comparar e explicar as consequências dos resultados obtidos.

À semelhança do capítulo anterior, para os gráficos que registam o intervalo de tempo entre cada medida obtida a legenda é apresentada na figura 5.2.

Intervalo —+— RSSI - - - -

Figura 5.2: Representação da legenda dos gráficos do intervalo temporal entre medidas.

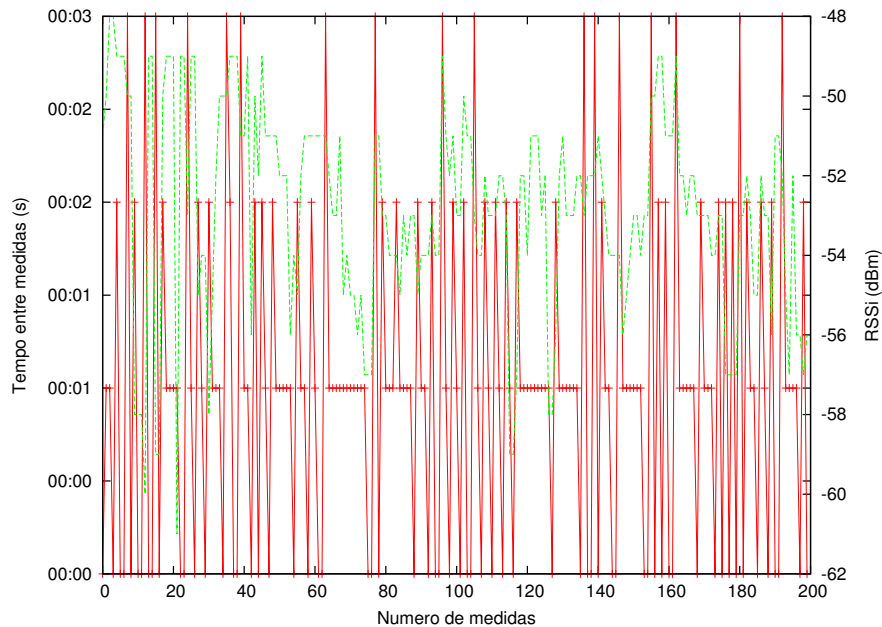


Figura 5.3: Acesso a páginas *web* de 2 em 2 segundos.

Executando o *script* com um intervalo de tempo entre a abertura de páginas igual a 2 s, obtemos o gráfico da figura 5.3. Como se pode observar, as medidas são registadas e enviadas pelo sensor para o servidor com um intervalo de tempo muito reduzido 1-3 s, próximo do valor ideal de 1 s, pelo que se trata de um cenário bastante positivo. Foram efetuadas várias

medições para a opção anterior, de forma a confirmar que não se tratava de um comportamento pontual mas sim constante, tendo todas elas apresentado o mesmo comportamento.

Executando o *script* com um intervalo de tempo entre a abertura de páginas sucessivas igual a 5 segundos, obtemos o gráfico da figura 5.4, no qual podemos reter que para 5 s de intervalo entre a abertura de páginas os tempos entre cada medição já se deterioram um pouco, deixando a aplicação a funcionar de modo "intermitente", representando assim a posição do equipamento apenas esporadicamente.

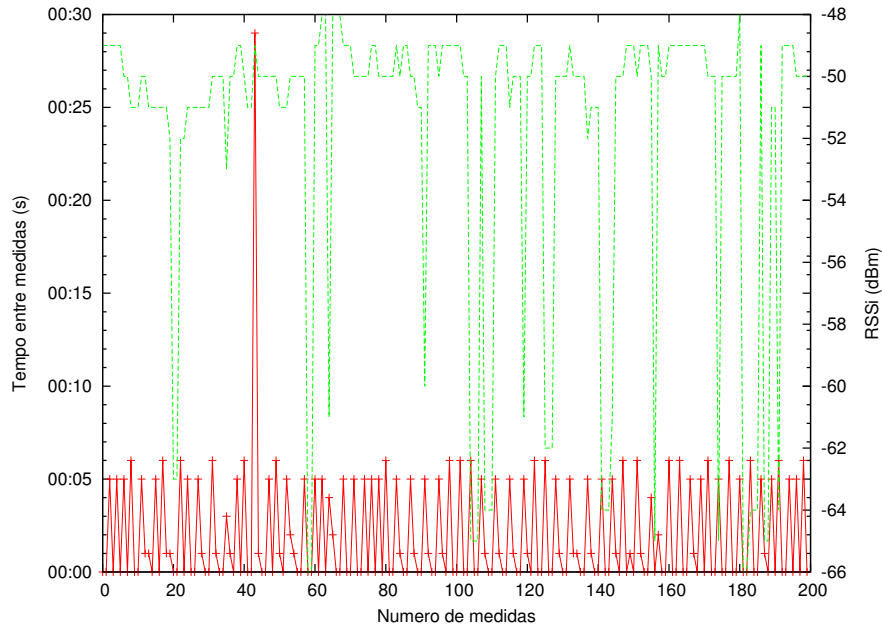


Figura 5.4: Acesso a páginas *web* de 5 em 5 segundos.

Para o estado em que o equipamento se encontra inativo (figura 5.5), é completamente impossível estimar qualquer localização, pois com uma amostra por cada 1-2 min pode acontecer que no intervalo entre duas amostras o equipamento tenha um deslocamento consideravelmente superior à área de cobertura do sistema, podendo a aplicação antever que a última posição estimada/indicada se encontra bastante desfasada da posição real do equipamento, eventualmente até fora da área coberta, e por consequência seja considerada completamente errada, diminuindo o interesse/utilidade da aplicação. Neste caso, o método de localização é similar ao método *nearest cell*.

Por outro lado, com o equipamento a receber um *streaming* (por exemplo *webradio*), os resultados são ótimos, tal como se pode observar no gráfico da figura 5.6, muito semelhante (para melhor) aos obtidos simulando o acesso do utilizador comum a páginas *web* a cada 2 segundos.

5.3 Posicionamento dos sensores

Para proceder aos testes do sistema foram feitas várias medições com os 3 sensores colocados em diferentes posições ao longo do piso. Na primeira tentativa, como se pode verificar através da observação da figura 5.7, os pontos B representam a posição dos sensores. Utilizando apenas 1/3 do laboratório, as medições não são muito conclusivas, pois como a distância

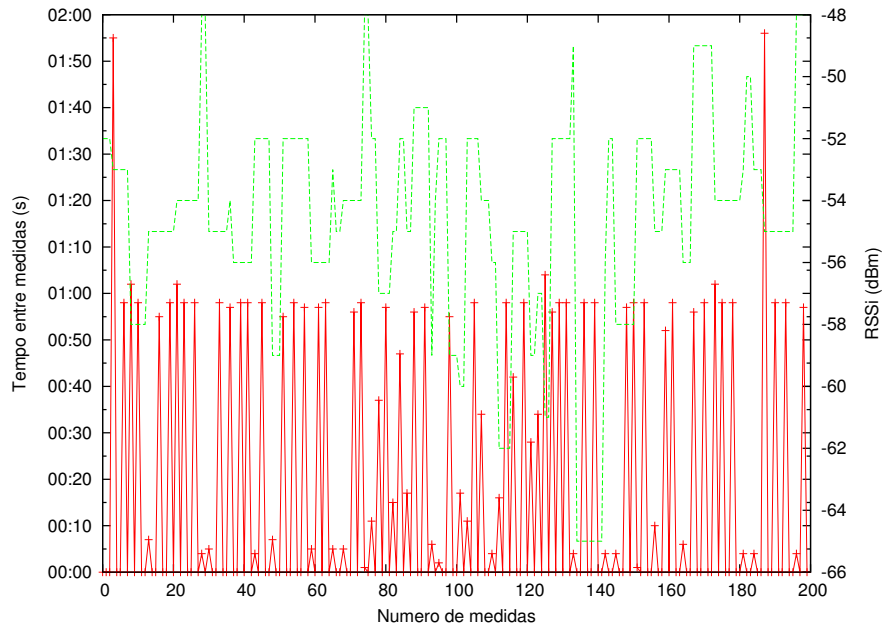


Figura 5.5: Equipamento inativo.

entre os sensores é reduzida (4-5 metros) um erro de 2-3 m torna qualquer tentativa de localização numa tarefa empírica. Assim sendo, houve necessidade de afastar os sensores, fazendo com que estes cubram uma área mais elevada, o que se tornou benéfico do ponto de vista da utilidade do sistema. Espera-se assim ser possível obter resultados visivelmente mais claros.

A segunda tentativa (pontos A) revelou-se também ela "desajustada", desta vez porque a distância escolhida entre os sensores foi demasiado elevada, 27 metros em linha reta. Neste caso, existiram diversas obstruções do sinal provocadas pela planta do edifício, já que a quebra na receção do sinal acontece para valores ainda aceitáveis da potência de sinal (-74 dBm a -78 dBm), deixando no instante seguinte de se detetar a comunicação do equipamento, em vez de se obterem os valores típicos de uma conexão instável (-80 dBm a -95 dBm), fazendo antever que o equipamento estaria a sair da área de deteção/cobertura dos sensores. Com esta opção, obter uma estimativa da posição do equipamento é praticamente impossível, pois existe apenas uma pequena área (na intersecção dos 2 corredores perpendiculares) onde o sinal do equipamento é detetado pelos 3 sensores em simultâneo, sendo mesmo esta deteção muito esporádica.

O gráfico da figura 5.8 representa um teste ao sistema com o objetivo de verificar o seu correto funcionamento: colocou-se o sensor na posição A (canto superior esquerdo da planta), estando o equipamento situado no ponto B inferior, no canal 6. Como se pode observar, as medidas possuem um intervalo entre registo muito regular, tal como era de esperar. No que respeita aos valores em si, estes são também constantes, em parte devido ao fator de ocupação/povoação do meio e não à distância aceitável entre o equipamento e o sensor, encontrando-se assim perto do limite de deteção. A mesma medição, variando apenas a frequência em que o equipamento está a transmitir para uma mais elevada (canal 11), já não permite o registo de medidas referentes ao mesmo equipamento por parte do sensor.

As posições do equipamento onde as medições das figuras 5.9 e 5.10 foram efetuadas

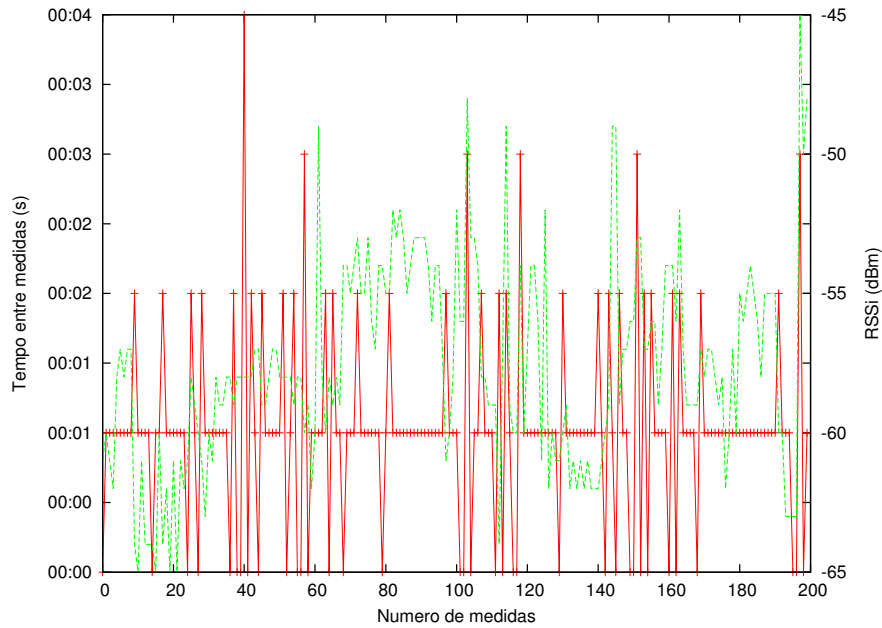


Figura 5.6: Equipamento a aceder a *webradio*.

não está assinalada na planta, mas situam-se espaçadas entre o ponto ABC e o ponto AC, enquanto o sensor se mantém na mesma posição inicial (ponto A referido no parágrafo anterior). Verifica-se também o que foi dito anteriormente (intervalos regulares entre cada medida e valores constantes), mas surge um dado curioso: a medição mais próxima do sensor regista medidas ligeiramente inferiores à medição mais distante, ao contrário do que seria de esperar, tendo em conta que teoricamente quanto mais longe o equipamento se encontra do sensor menor são os valores registados. Para distâncias limite do sensor, os valores de $RSSI_i$ traduzem uma menor precisão da distância (existe maior variação da mesma para o mesmo valor), pelo que é possível observar medições em diferentes pontos com o mesmo $RSSI_i$ ou até mesmo com valores conceptualmente invertidos, nomeadamente nas duas últimas medições. Da mesma forma que no caso anterior, as medições foram efetuadas no canal 6, uma vez que no canal 11 não foi possível obter nenhuma medição.

Como se pode observar pelo gráfico da figura 5.11, no teste de alcance entre sensor e equipamento no ponto AC existem intervalos temporais demasiado evidentes e de dimensões elevadas (2 min) que impossibilitam o funcionamento correto da aplicação, inviabilizando o seu uso numa localização ainda que minimalista, uma vez que apenas permite obter 20 medidas em 8 min, quando o número esperado seria de $8 \times 60 = 480$ medidas, uma a cada segundo. Este gráfico é referente à medição que decorre entre a posição do sensor (ponto A) e o ponto AC (canto inferior direito da planta) onde se posicionou o equipamento, sendo o estado deste o estado que corresponde a aceder a *webradio* no canal 6 da tecnologia *Wi-Fi*.

Em ambientes interiores notou-se que a partir dos 20 m começam a existir divergências nas medidas e que os objetos que povoam o espaço incutem maior atenuação nos sinais transmitidos, afetando significativamente as medições.

Para a terceira tentativa, pontos C, a opção foi reduzir a distância dos sensores para aproximadamente metade, sensivelmente 14.5 m, por forma a garantir que todos os sensores consigam detetar o sinal enviado por um equipamento na área delimitada pelos mesmos, o

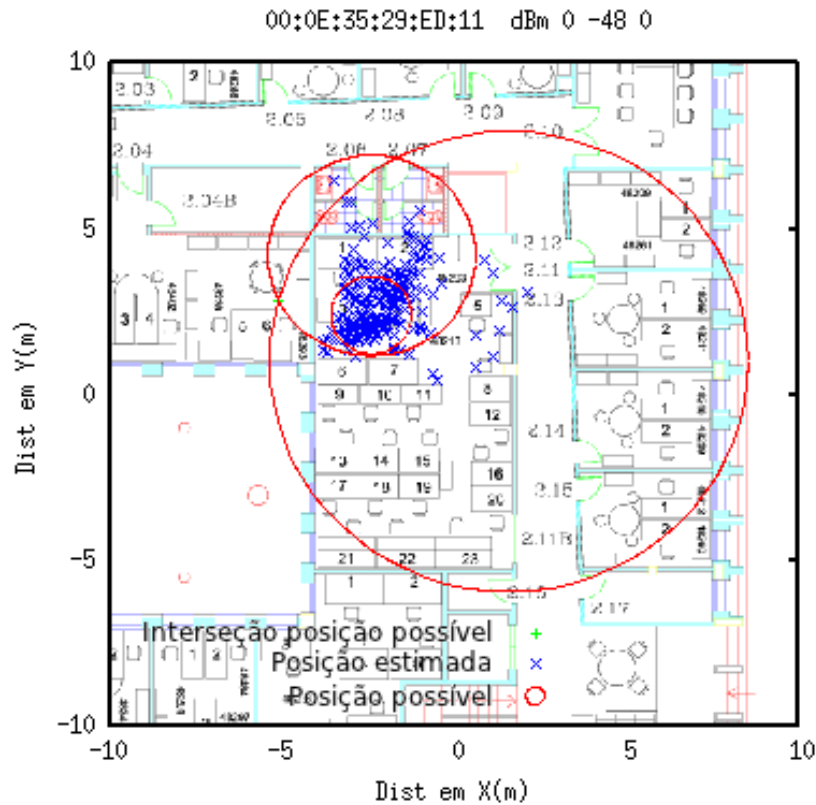


Figura 5.7: Estimativa de localização com área demasiado pequena (tentativa 1).

que não era verificado na situação anterior. Esta tentativa revelou-se bem sucedida, pelo que os gráficos a ser apresentados são os gráficos finais da aplicação em execução (figura 5.12 e seguintes).

Estes gráficos mostram a localização estimada de um equipamento, numa área de 100 metros quadrados, (8.1×12.3) , muito superior á área coberta pela primeira tentativa, tornando mais explicita a discrepância entre a posição real do equipamento e a posição estimada. Podemos observar que para o conjunto das experiências efetuadas existem vários comportamentos distintos que podem ser observados, alguns numa mesma experiência.

Os comportamentos avaliados qualitativamente são descritos de seguida:

- pontos corretamente estimados;
- pontos estimados com um desvio mínimo/aceitável;
- pontos estimados com um desvio exagerado face á posição real, os quais se consideram com erro significativo;
- pontos isolados absolutamente errados.

Foram efetuados 2 tipos de experiências distintas: no primeiro, o equipamento a localizar permanece estático, sem alterar a sua posição durante o tempo em que a experiência decorre; no segundo, o equipamento desloca-se com um movimento aproximadamente constante a uma velocidade de 1-2 m/s, representativo da movimentação comum de uma pessoa num edifício.

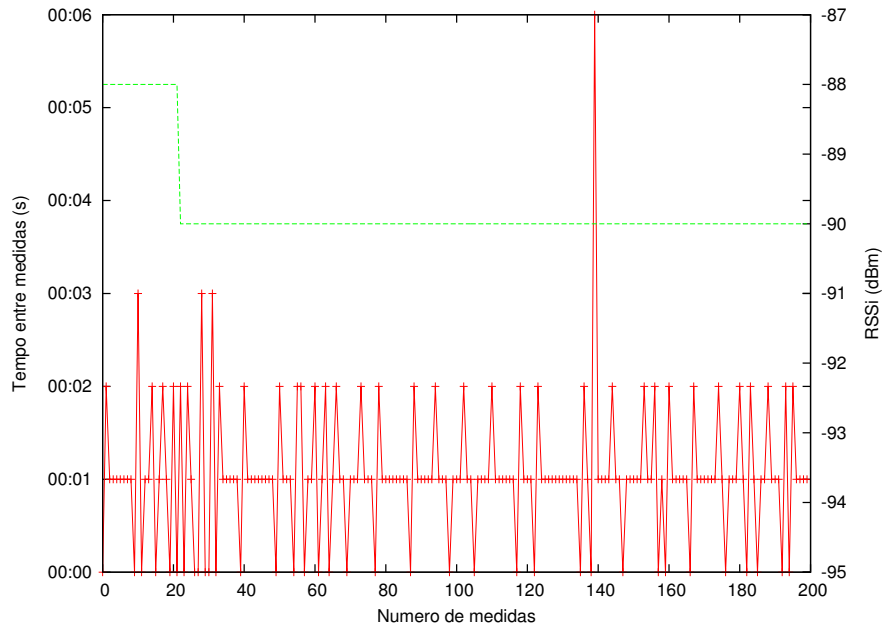


Figura 5.8: Teste de alcance entre sensor no ponto A e o equipamento no ponto B.

Na primeira experiência (equipamento estático) observam-se resultados muito idênticos tanto para o estado em que o cliente está a aceder ao *webradio* (figura 5.12) como para o estado em que o cliente acede a páginas com uma regularidade elevada (2 s) (figura 5.13). O número de mensagens recebidas não varia consoante o estado do cliente, e a quantidade de pontos representados também aparenta ser indistinguível, estando estes relacionados não só com a quantidade de mensagens mas também com os valores contidos nas mesmas. No que respeita à exatidão dos pontos calculados, conclui-se que esta não é afetada pois o resultado final é em tudo semelhante. Se contemplar-mos nesta análise também o estado de aceder a páginas a cada 5 segundos (figura 5.14), já se observa uma quantidade de pontos inferior, sendo que a precisão diminui ligeiramente para a primeira experiência, em que o equipamento se encontra estático. Os pontos registados nestes gráficos são considerados como corretamente estimados, ou com um desvio aceitável em relação à posição real, exceto no último caso em que existe uma quantidade ínfima de pontos que se pode considerar como apresentando um desvio exagerado quando comparado com o esperado. Ainda assim, no geral, deve ser realçado o correto funcionamento da aplicação.

Na segunda experiência o equipamento encontra-se em movimento, deslocando-se a uma velocidade constante de acordo com o utilizador. O trajeto descrito pelo utilizador é iniciado no ponto B inferior, dirigindo-se à porta do laboratório, seguindo em direção ao ponto AC pelo corredor, e retornando pelo mesmo caminho até ao ponto inicial. Os resultados obtidos são muito semelhantes para as medições efetuadas quando o equipamento acede ao serviço de *webradio* (figura 5.15) e quando acede a páginas *web* (figura 5.16) a cada 2 segundos. A variação da quantidade de pontos registada não é distinguível o que corrobora a ausência de anomalias no funcionamento da aplicação decorrente do estado do equipamento. Como seria de esperar, os pontos encontram-se agora dispersos pela área percorrida. Relacionando com a experiência anterior (equipamento estático), a exatidão que os pontos calculados obtêm em relação aos reais mantém-se próxima da observada no caso anterior, apesar de se notar o

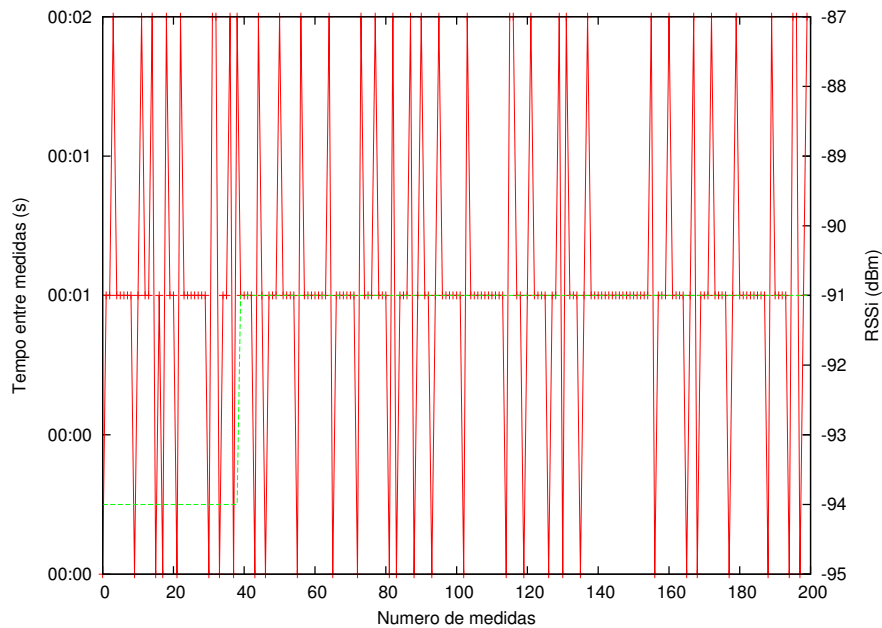


Figura 5.9: Teste de alcance entre o sensor no ponto A e o equipamento próximo do ponto ABC.

aparecimento de casos pontuais que refletem o seu distanciamento da posição real, facto que também se verificava na experiência anterior (em que o equipamento se mantinha estático) mas em quantidade menor, nomeadamente quando o estado do equipamento consistia em aceder a páginas *web* a cada 5 segundos.

Relativamente ao estado no qual o equipamento acede a páginas *web* a cada 5 segundos (figura 5.17), através da observação do gráfico é visível uma diminuição da quantidade de pontos registados, ainda que possa ser considerada pouco significativa do ponto de vista do funcionamento da aplicação uma vez que possibilita a sua utilização de forma viável tendo em vista a localização do equipamento, apesar dos intervalos observados entre registos serem ligeiramente superiores, o que consequentemente diminui o número de pontos representados. Nesta experiência não existem diferenças na caracterização dos pontos consoante o estado do equipamento. Os pontos registados mostram maioritariamente um desvio aceitável, ainda que a quantidade de pontos com um desvio exagerado seja claramente maior comparando com a experiência anterior, podendo alguns pontos serem considerados isolados e não refletirem de forma alguma a posição em que o equipamento se encontra.

Procedeu-se ainda a uma terceira experiência (figura 5.18) não prevista inicialmente, com características semelhantes à experiência reportada na figura 5.15, em que foi alterado apenas o canal em que a escuta se efetua, passando neste caso a escuta a ser efetuada em 3 canais ao invés de apenas um, especificamente nos canais 1, 6 e 11. Como se pode observar pela figura 5.18 e comparando com a mesma experiência correspondente a apenas um canal (figura 5.15), a quantidade de pontos representados é muito semelhante, e até a sua posição, sendo que mesmo os pontos que estão mais afastados da posição real estão colocados visivelmente próximos em ambas as experiências. Este facto comprova que a opção de escuta de 1, 2 ou 3 canais não influencia negativamente o funcionamento/eficiência da aplicação.

No entanto convém realçar que aumentando o número de canais para um valor superior

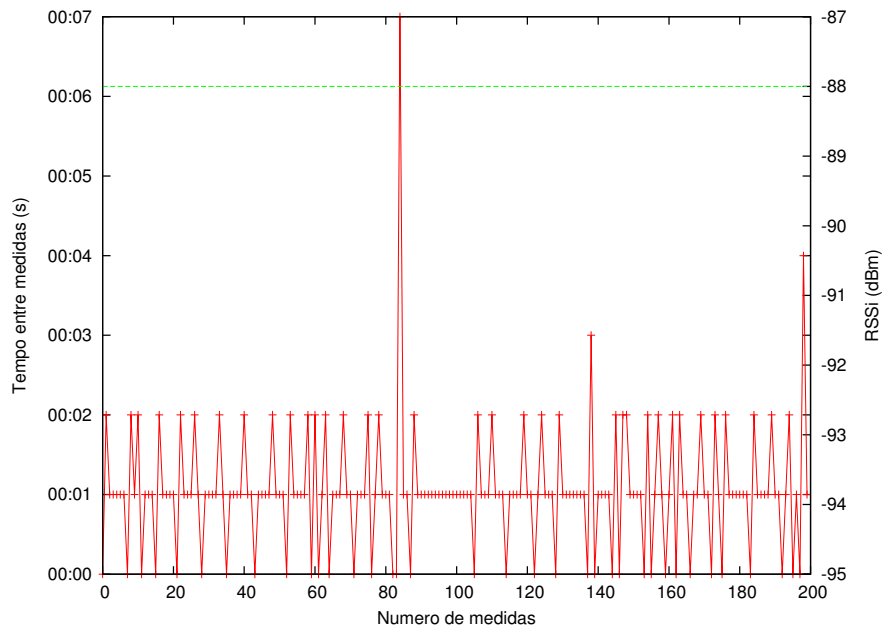


Figura 5.10: Teste de alcance entre o sensor no ponto A e o equipamento a meia distância entre os pontos ABC e AC.

ou igual a 5 pode comprometer os resultados calculados pela aplicação.

5.4 Lançamento da aplicação sensorial/servidora

A aplicação sensorial pode ser lançada através do seguinte comando:

```
airodump-ng -c 6 -S 193.136.93.178 mon0
```

Este é o comando que se deve correr na máquina com a aplicação sensorial para que esta inicie o seu funcionamento. Existem alguns pormenores a ter em conta: normalmente é necessário lançar a aplicação com privilégios de super-utilizador, sendo que para isso basta introduzir o comando precedido de *"sudo"*. O parâmetro *-c* indica o canal a ser escutado, e caso seja necessário podem ser especificados vários canais *-c 1,6,11*". O último parâmetro do comando indica qual a *interface* em modo monitor a usar. Note-se que esta pode ser criada utilizando o comando *"airmon-ng start wlan0"* em que *"wlan0"* é a *interface* de rede sem fios.

Lançamento da aplicação servidora:

A aplicação servidora pode ser colocada em execução através do seguinte comando:

```
./servidor_final -t -p it2p.png 242 242 -211 -9 -e 10 10 -w 600
```

O parâmetro *-t* permite que os pontos anteriormente calculados sejam mostrados, ao invés de apenas mostrar o ponto atual. O parâmetro *-p* permite indicar o ficheiro que contém a planta (*it2p.png*), com metade da área a mostrar (em *pixel*) no eixo do x (242) e no eixo do y (242), centrada no ponto (-211,-9). Este parâmetro mostra a imagem numa área em que x varia de $-211 - 242$ a $-211 + 242$ e y varia entre $-9 - 242$ e $-9 + 242$. O parâmetro *-e* representa os extremos da escala na *interface* gráfica da aplicação, também no eixo dos x (10) e no eixo dos y (10), definindo assim neste caso uma escala de -10 a 10 para ambos

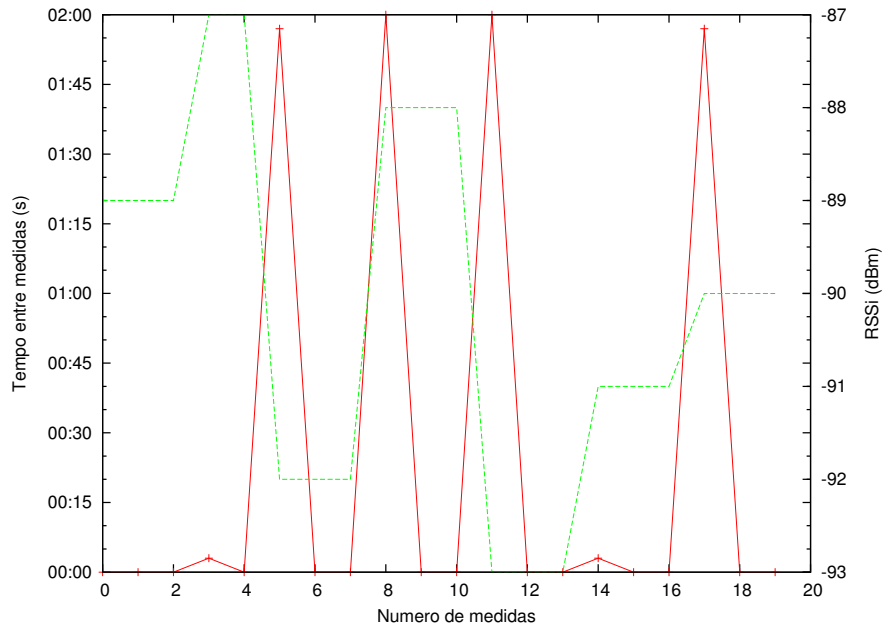


Figura 5.11: Teste de alcance entre sensor e equipamento no ponto AC.

os eixos. O parâmetro -w representa o tamanho da janela gráfica da aplicação servidora em *pixel* (600, neste caso).

5.5 Medições experimentais RSSI-distância e valores interpolados

Na tabela 5.1 estão registadas as medições experimentais efetuadas para as distâncias descritas na primeira coluna entre o sensor e o equipamento móvel.

A tabela 5.1 deu origem ao gráfico 5.19 que mostra visualmente a relação obtida entre a potência e a distância.

A partir do gráfico é gerada a segunda tabela, 5.2, onde se encontra a correspondência

Tabela 5.1: Tabela de pontos medidos experimentalmente.

Dist	Medidas								Média	MF
0	-18.895	-21.21	-19.405	-19.69	-19.745	-18.34	-19.55	-18.02	-19.356	-19
1	-29.065	-28.795	-29.815	-29.065	-29.765	-29.68	-30.215	-29.41	-29.476	-30
1.8	-37.19	-38.385	-36.99	-37.74	-36.75	-36.43	-36.4	-38.11	-37.249	-37
2	-42.84	-41.625	-42.165	-42.58	-42.305	-42.57	-41.3	-42.35	-42.217	-42
4.3	-44.03	-44.01	-44.315	-44.815	-43.81	-43.67	-43.64	-44.305	-44.075	-44
5	-49.255	-50.185	-49.97	-50.745	-51.345	-49.58	-49.855	-48.795	-49.966	-50
6	-52.28	-51.1	-51.79	-57.25	-49.625	-53.8	-54.035	-50.255	-52.516	-53
7	-57.005	-57.205	-56.315	-55.443	-56.655	-56.81	-61.645	-56.56	-57.204	-57
9	-62.28	-62.46	-63.665	-67.46	-62.145	-63.32	-63.1	-62.13	-63.320	-63
13	-70.615	-73.715	-72.51	-72.84	-74.24	-72.02	-71.445	-68.975	-72.045	-72
21	-90.86	-90.0	-90.76	-91.705	-88.26	-87.48	-90.455	-90.415	-89.991	-90

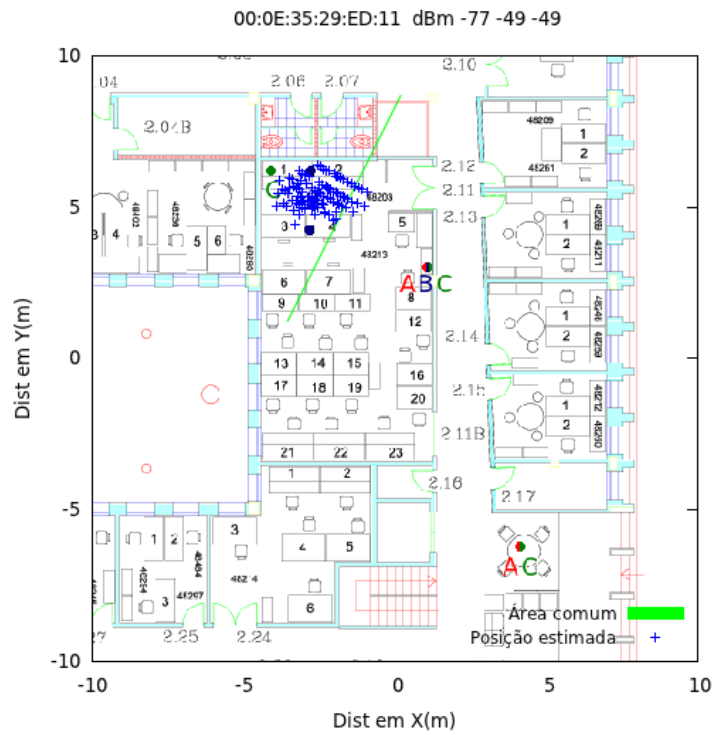


Figura 5.12: Equipamento estático a aceder a *web radio*.

RSSI-distância, interpolada pela ferramenta de representação gráfica *gnuplot* gerada com base nos valores do gráfico anterior.

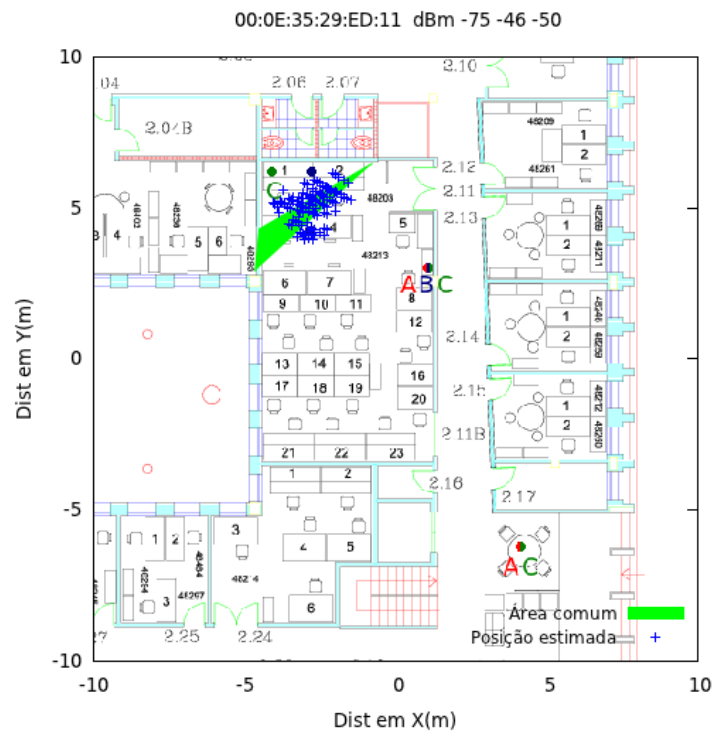


Figura 5.13: Equipamento estático a aceder a páginas *web* a cada 2 segundos.

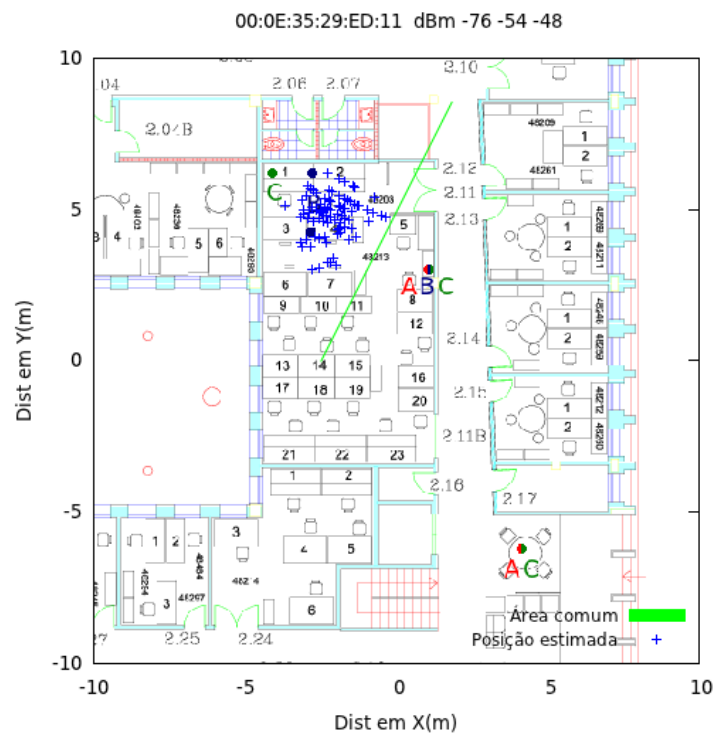


Figura 5.14: Equipamento estático a aceder a páginas *web* a cada 5 segundos.

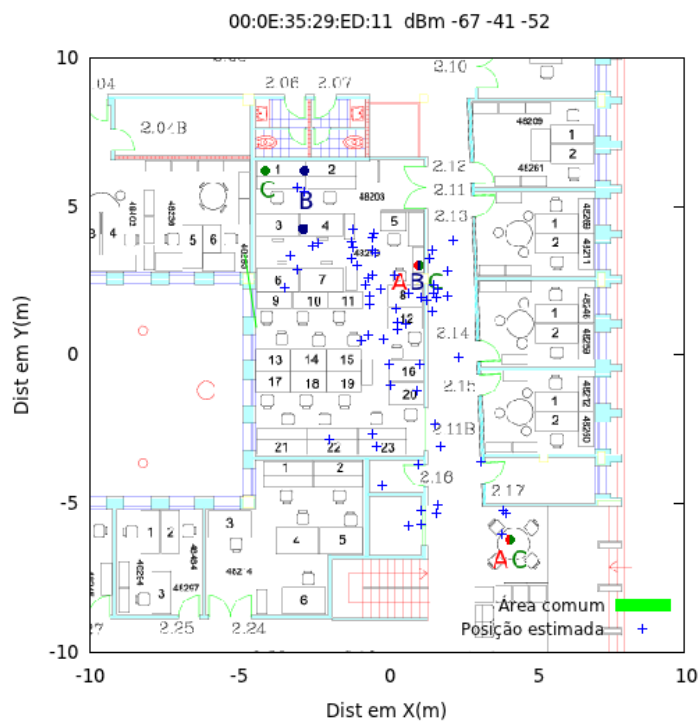


Figura 5.15: Equipamento em movimento a aceder a *web radio*.

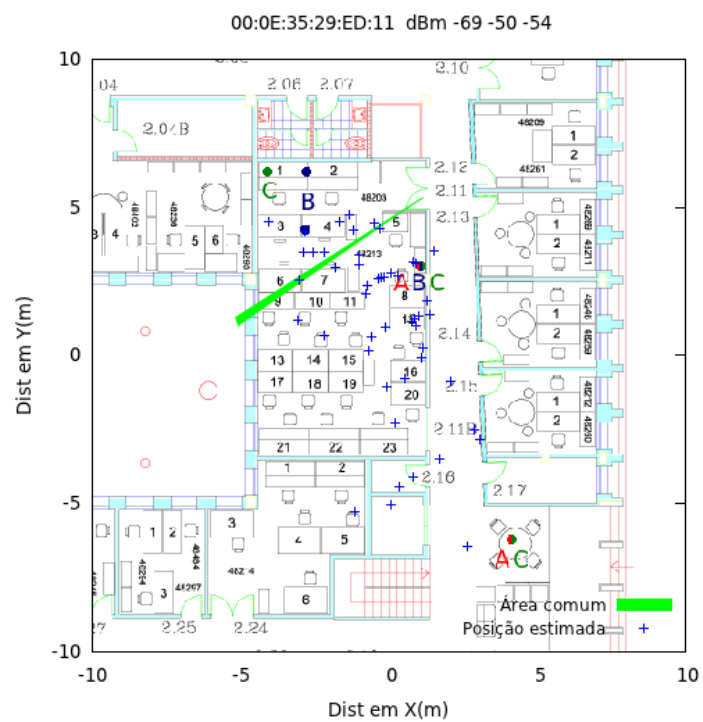


Figura 5.16: Equipamento em movimento a aceder a páginas *web* a cada 2 segundos.

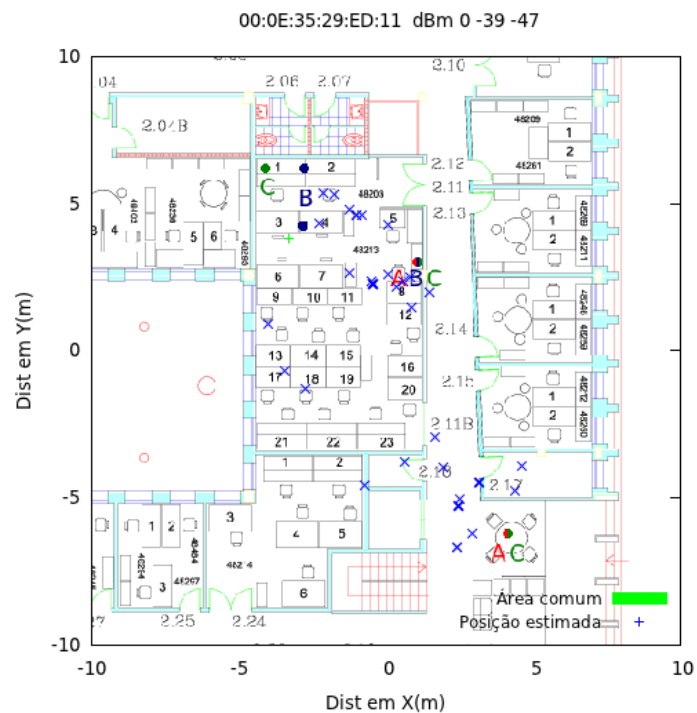


Figura 5.17: Equipamento em movimento a aceder a páginas *web* a cada 5 segundos.

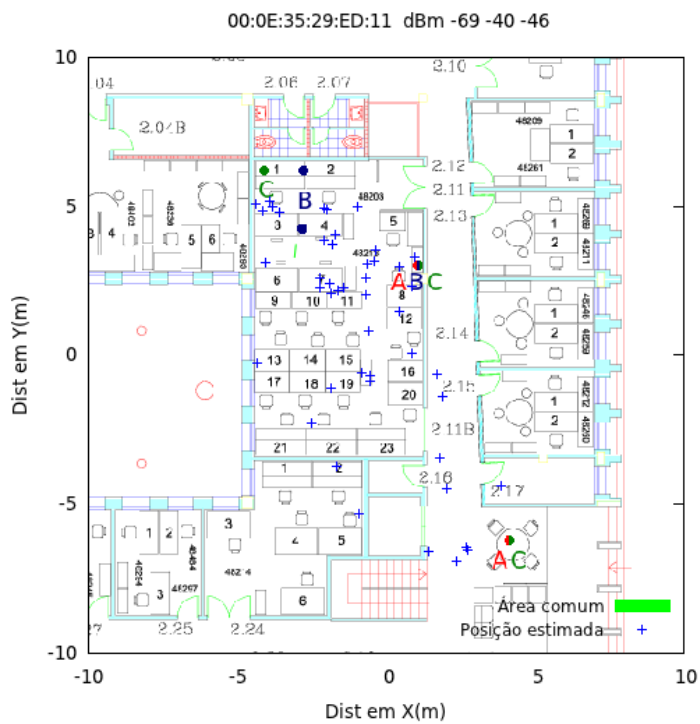


Figura 5.18: Equipamento em movimento a aceder a *web radio*, escutando 3 canais.

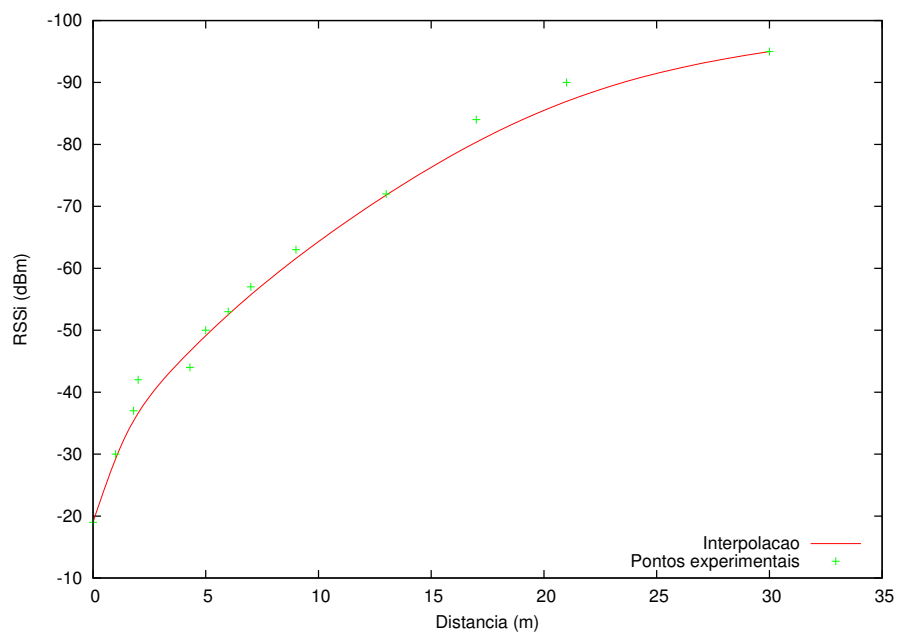


Figura 5.19: Relação obtida experimentalmente $RSSI$ -distância.

No exterior o alcance é pouco variável e ronda os 90 m porque apenas o "ar" contribui para a atenuação do sinal, já no interior de um edifício existem objetos variados que aumentam drasticamente a atenuação do sinal, diminuindo o alcance efetivo para valores inferiores ou iguais a 30 m consoante a ocupação da área em questão, facto que aumenta ligeiramente as diferenças de alcance obtidas.

A relação entre a potência do sinal e a distância é uma função de característica logarítmica, como se pode observar através da curva representada na figura 5.19 correspondente a um espaço interior. Para valores discretos de potência, quanto menor for o valor (menor potência), maior é a distância que este abrange. Embora na figura a função de interpolação esteja limitada aos 30 m, o alcance do sistema na prática fica um pouco abaixo, na ordem dos 25 m devido aos aspetos acima descritos.

É necessário ressaltar que os testes e medições efetuados foram executados no (piso do) laboratório de redes povoado com o tipo de objetos comuns de um laboratório: armários, mesas, cadeiras, equipamentos informáticos, e vários equipamentos sem fios a funcionar em diversas frequências, não devendo ser excluída a possibilidade de interferências que contribuíram para uma redução na exatidão dos resultados, ainda que desta forma reflitam uma enorme aproximação destes com os que possam ser obtidos numa implementação real.

Tabela 5.2: Tabela de correspondência dos valores $RSSi$ -distância.

P	Dist	Med	P	Dist	Med	P	Dist	Med	P	Dist	Med
-19	0.0 0.0	0	-39	2.44426 2.44548	2.445	-59	8.08907 8.09145	8.089	-79	16.2989 16.3038	16.301
-20	0.0904128 0.0915915	0.091	-40	2.65329 2.65454	2.653	-60	8.4335 8.436	8.436	-80	16.8073 16.8124	16.811
-21	0.183756 0.18491	0.184	-41	2.87399 2.87528	2.874	-61	8.78779 8.79043	8.788	-81	17.3356 17.3409	17.337
-22	0.277402 0.278531	0.278	-42	3.10629 3.1076	3.107	-62	9.14618 9.14894	9.147	-82	17.8796 17.885	17.885
-23	0.371221 0.372326	0.372	-43	3.35005 3.35139	3.350	-63	9.51035 9.51323	9.513	-83	18.4512 18.4568	18.453
-24	0.467343 0.468423	0.468	-44	3.60247 3.60383	3.603	-64	9.88238 9.8854	9.884	-84	19.0467 19.0524	19.052
-25	0.564637 0.565695	0.565	-45	3.86349 3.86487	3.864	-65	10.2585 10.2616	10.261	-85	19.6738 19.6798	19.675
-26	0.663216 0.664255	0.663	-46	4.13051 4.13192	4.131	-66	10.644 10.6473	10.645	-86	20.3353 20.3415	20.336
-27	0.763299 0.764324	0.764	-47	4.40397 4.40541	4.404	-67	11.0318 11.0352	11.034	-87	21.0345 21.0409	21.041
-28	0.867238 0.868252	0.867	-48	4.68177 4.68324	4.683	-68	11.4277 11.4312	11.430	-88	21.7953 21.802	21.797
-29	0.973398 0.974406	0.974	-49	4.96342 4.96493	4.964	-69	11.831 11.8347	11.832	-89	22.6112 22.6182	22.614
-30	1.08432 1.08533	1.085	-50	5.25172 5.25328	5.252	-70	12.2375 12.2413	12.241	-90	23.5039 23.5113	23.506
-31	1.20061 1.20163	1.201	-51	5.54343 5.54504	5.544	-71	12.654 12.6579	12.656	-91	24.4923 24.5001	24.5
-32	1.323 1.32403	1.323	-52	5.84149 5.84317	5.841	-72	13.0763 13.0803	13.078	-92	25.6083 25.6167	25.609
-33	1.45227 1.45331	1.452	-53	6.14383 6.14559	6.144	-73	13.5079 13.5121	13.51	-93	26.8661 26.8751	26.871
-34	1.59029 1.59135	1.591	-54	6.45136 6.4532	6.453	-74	13.9487 13.953	13.949	-94	28.3127 28.3225	28.323
-35	1.73795 1.73904	1.738	-55	6.7667 6.76863	6.767	-75	14.394 14.3984	14.397	-95	30.0 30.0	30
-36	1.89611 1.89723	1.897	-56	7.08652 7.08856	7.088	-76	14.8524 14.857	14.855			
-37	2.06669 2.06669	2.067	-57	7.41498 7.41713	7.415	-77	15.3241 15.3288	15.324			
-38	2.24925 2.25043	2.249	-58	7.74781 7.75007	7.749	-78	15.8046 15.8094	15.806			

Capítulo 6

Conclusões

6.1 Conclusões Finais

Os resultados obtidos podem ser considerados aceitáveis: existe uma parte em que a estimativa da localização é efetivamente boa, mas em contra partida também existe uma porção menos boa que diminui a apreciação da estimativa da localização no geral.

Os melhores resultados são obtidos inequivocamente quando o equipamento se encontra estático, representando todos os pontos calculados uma área diminuta a que corresponde a posição do equipamento. Comparando com os resultados adquiridos na situação em que o equipamento se desloca à velocidade do utilizador verifica-se que estes não são maus, mas existe uma pequena parcela onde está presente uma diferença na correspondência entre a posição real do equipamento e a posição estimada dos pontos calculados; ainda que a discrepância seja visível, apenas diminui ligeiramente a precisão da aplicação, sendo por isso considerada a fração menos positiva. No entanto não é significativa e de forma alguma inviabiliza a utilização da aplicação.

A nível da estimativa da localização seria interessante comparar quais os ganhos reais entre as duas opções do sistema, quando o cliente está integrado no sistema e na situação oposta em que ambos representam diferentes sistemas.

Comparando a aplicação desenvolvida com os sistemas *RTLS* existentes no mercado atualmente, nos melhores casos a aplicação mostra estar ao mesmo nível, embora nos piores casos possa fugir um pouco à precisão obtida pelos sistemas com vasta experiência e anos de mercado. É de notar que nos sistemas referidos o cliente encontra-se integrado no próprio sistema, pelo que não temos conhecimento até à presente data de implementações de sistemas que operem de forma passiva.

O gosto pela área e o desenvolvimento desta dissertação permitiu aumentar o conhecimento numa área cada vez mais importante no quotidiano das empresas e particulares, que se encontra em expansão devido às várias tecnologias que estão a surgir. Atendendo aos resultados obtidos, que posso considerar como bons, concluo que foram alcançados os objetivos propostos para a dissertação.

6.2 Trabalho Futuro

Com vista ao complemento deste trabalho de mestrado existe a possibilidade de melhorar os resultados obtidos recorrendo á implementação de algoritmos complexos de probabilidades

para o tratamento dos pontos, escolhendo os que representam com maior exatidão a localização do equipamento.

Outro possível desenvolvimento futuro é a possibilidade de desenvolver uma *interface* gráfica integrada na aplicação, mais agradável e intuitiva no que respeita à representação da localização calculada, sem deixar de fora a correção de erros detetados durante a utilização da aplicação.

Bibliografia

- [1] GPS.gov Official U.S. Government information about the Global Positioning System (GPS) and related topics - acedido em fev de 2012 - <http://www.gps.gov/>
- [2] About.com What is the range of a typical wi-fi lan? - acedido em fev de 2012 - <http://compnetworking.about.com/cs/wirelessproducts/f/wifirange.htm>
- [3] Kameswari Chebrolu et all, Long-Distance 802.11b Links: Performance Measurements and Experience Dept. of CSE, IIT Kanpur Kanpur, INDIA 208016
- [4] Infowester Tecnologia Bluetooth - acedido em fev de 2012 - <http://www.infowester.com/bluetooth.php>
- [5] Patrick Kinney, ZigBee Technology: Wireless Control that Simply Works, Chair of IEEE 802.15.4 Task Group Secretary of ZigBee BoD Chair of ZigBee Building Automation Profile WG, 2 October 2003.
- [6] Search Mobile Computing GSM - Global System for Mobile communication - acedido em fev de 2012 - <http://searchmobilecomputing.techtarget.com/definition/GSM>
- [7] Etsi Mobile Technologies GSM - acedido em fev de 2012 - <http://www.etsi.org/WebSite/technologies/gsm.aspx>
- [8] Stuart A. Golden and Steve S. Bateman Sensor Measurements for Wi-Fi Location with Emphasis on Time-of-Arrival Ranging. IEEE TRANSACTIONS ON MOBILE COMPUTING, VOL. 6, NO. 10, OCTOBER 2007.
- [9] André Gunther and Christian Hoene Measuring Round Trip Times to Determine the Distance between WLAN Nodes. Telecommunication Networks Group (TKN), TU-Berlin, Germany.
- [10] Stefan Schwalowsky et all, System Integration of an IEEE 802.11 based TDoA Localization System. IEEE, 2010.
- [11] Rong Peng and Mihail L. Sichitiu Angle of arrival localization for wireless sensor networks. Department of Electrical and Computer Engineering North Carolina State University Raleigh, NC 27695.
- [12] D. Niculescu and B. Nath Ad hoc positioning system (APS) using AOA. IEEE INFOCOM, Apr. 2003.

- [13] A. Nasipuri and K. Li A directionality based location discovery scheme for wireless sensor networks First ACM International Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications, Atlanta, GA, Sept. 2002.
- [14] Cisco. Wi-Fi Location-Based Services - acedido em fev de 2012 - <http://www.cisco.com/en/US/docs/solutions/Enterprise/Mobility/wifich2.html>
- [15] Jordi Lladós Segura, Sistema de auto localización a partir de una red WIFI Universidad de Lleida, Escuela Politécnica Superior Ingeniería Técnica en Informática de Sistemas, 2010.
- [16] University of Colorado The Global Positioning System - acedido em fev de 2012 - <http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps.f.html>
- [17] GPS Gov Official U.S. Government information about the Global Positioning System - acedido em out de 2012 - <http://www.gps.gov/>
- [18] NIS Glonass National navigation services provider - acedido em jul de 2012 - <http://www.nis-glonass.ru/en>
- [19] Space and Tech GLONASS - acedido em jul de 2012 - http://www.spaceandtech.com/spacedata/constellations/glonass_consum.shtml
- [20] Federal Space Agency Information analytical centre of Glonass - acedido em jul de 2012 - <http://www.glonass-ianc.rsa.ru/en/index.php>
- [21] Prof. Dr. Grigory Stupak Glonass status and development plans 5th Meeting of the International Committee on GNSS, Turin, Italy, 2010.
- [22] Ekahau. WiFi tracking systems - acedido em mai de 2012 - <http://www.ekahau.com/>
- [23] AeroScout. WiFi RTLS - acedido em mai de 2012 - <http://www.aeroscout.com/>
- [24] Inner wireless. In-building wireless solutions - acedido em mai de 2012 - <http://www.innerwireless.com/>
- [25] N-Core. Wireless sensor networks - acedido em mai de 2012 - <http://n-core.info/>
- [26] AwarePoint. Real-Time awareness solutions - acedido em mai de 2012 - <http://www.awarepoint.com/our-solutions/overview/>
- [27] Pinpoint. Pinpoint Technologies - acedido em mai de 2012 - <http://www.pinpointrtls.com/>
- [28] Ubisense. Real time location system and geospatial consulting - acedido em mai de 2012 - <http://www.ubisense.net/en/>
- [29] IEEE std 802.11 Part 11:Wireless Lan Medium Access Control (MAC) and Physical layer (Phy) Specifications. pag 489, 2007.
- [30] AirSnort Frequently asked questions - acedido em out de 2012 <http://airsnort.shmoo.com/faq.html#Q3>

- [31] Shane Crandall, Student, Hetal Jasani, Ph.D ProMix: linux Promiscuous Wireless Packet Analysis Department of Computer Science Northern Kentucky University Highland Heights, USA, 2011.
- [32] IEEE std 802.15.1 Part 15.1 Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical layer (Phy) Specifications for wireless personal area networks(WPANs). pag 46-47,50, 153, 361, 2005.
- [33] Gnuplot. Command-line graphing utility - acessido em jun de 2012 - <http://www.gnuplot.info/>
- [34] Aircrack-ng. Wireless network auditing - acessido em mar de 2012 - <http://www.aircrack-ng.org/>
- [35] Wireshark. Network protocol analyzer - acessido em jul de 2012 - <http://www.wireshark.org/>
- [36] Python. Python Programming Language - acessido em mar de 2012 - <http://www.python.org/>
- [37] Sonoma State University. Theorem 3.13, 2012 - acessido em fev de 2012 - <http://www.sonoma.edu/users/w/wilsonst/Papers/Geometry/circles/T11-15/T13.html>
- [38] Cprograming. kbhit() for linux - acessido em mai de 2012 - <http://cboard.cprogramming.com/c-programming/63166-kbhit-linux.html>

